

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

5/329

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. Боголицын**
Ответственный секретарь – засл. работник культуры РФ **Р.В. Белякова**

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

д-р биол. наук, проф. **В.П. Бессчетнов**; д-р техн. наук, проф. **П.В. Билей**; д-р техн. наук, проф. **А.В. Воронин**; д-р техн. наук, проф. **Е.Д. Гельфанд**; д-р с.-х. наук, проф. **С.В. Залесов**; д-р техн. наук, проф. **А.А. Камусин**; д-р экон. наук, проф., акад. РАСХН **Н.И. Кожухов**; д-р биол. наук, проф. **И.Т. Кищенко**; д-р техн. наук, проф. **В.С. Куров**; д-р техн. наук, проф. **В.И. Малыгин**; д-р с.-х. наук, проф. **Р.Н. Матвеева**; д-р с.-х. наук, проф. **М.Д. Мерзленко**; д-р техн. наук, проф. **Д.Г. Мясичев**; д-р с.-х. наук, проф. **Е.Н. Наквасина**; д-р техн. наук, проф. **А.Н. Обливин**; д-р техн. наук, проф. **В.И. Онегин**; д-р техн. наук, проф. **Е.А. 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» № 5/329

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 05.07.2012. Подписан в печать 22.10.2012. Заказ № 748
Форм. бум. 70×108 1/16. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 13,485. Усл. кр.-отт. 13,485.
Уч.-изд. л. 18,217. Тираж 1000 экз. В розничную продажу не поступает.
Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

Адрес редакции: 163002, г. Архангельск, наб. Сев. Двины, 17,
тел./факс: 8 (818-2) 28-76-18,
e-mail: forest@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>Е.М. Романов, Т.В. Нуреева, Н.В. Еремин.</i> Обоснование критериев и показателей перевода лесных культур в режим ускоренного лесовыращивания.....	7
<i>Е.Н. Наквасина, А.И. Барабин.</i> Практическое приложение прогнозирования климатических изменений для лесного семеноводства на Европейском Севере	14
<i>Н.А. Харченко, О.М. Корчагин.</i> Экология естественного семенного возобновления дуба черешчатого и развитие порослевых дубрав Центральной лесостепи (обзор проблемы, часть I).....	22
<i>И.Н. Болотов, М.В. Сурсо, Б.Ю. Филиппов, М.Ю. Гофаров, А.М. Тараканов.</i> Изменения древостоев в изолированных лесных островах на востоке Большеземельской тундры за последние 100 лет в условиях меняющегося климата	30
<i>В.Г. Гусев, В.К. Дубовый, Е.Л. Лопухова, В.А. Ирищян.</i> Метод оценки минимального расстояния от опорной полосы до кромки пожара при пуске отжига.....	38
<i>Д.Н. Торбик, П.А. Феклистов, А.М. Тараканов, Б.А. Мочалов, С.В. Третьяков.</i> Экотонный эффект в лесных сообществах, пройденных коридорными рубками ухода.....	46
<i>А.Ю. Захаров, Е.Н. Наквасина.</i> Результаты трехприемных рубок ухода в смешанных сосняках со вторым ярусом ели.....	52
<i>З.Я. Нагимов, И.Н. Артемьева, В.З. Нагимов.</i> Структура и динамика надземной фитомассы сосновых древостоев лишайникового типа леса.....	60
<i>В.В. Петрик, И.И. Дроздов, Н.Н. Васильева, Н.А. Кутакова.</i> Содержание биологически активных веществ в плодах различных видов барбариса при выращивании в условиях Европейского Севера.....	67

ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

<i>А.А. Камусин, Д.М. Левушкин.</i> Повышение прочности дорожных покрытий лесовозных автомобильных дорог.....	72
<i>А.С. Миляев.</i> Прогнозирование параметров промерзания слоистых оснований зимних лесовозных дорог по текущим значениям метеоданных.....	78
<i>В.А. Якимов, Д.Г. Мясцев.</i> Постановка задачи оптимизации компоновки лесного посевного агрегата на шасси 3-1/1.....	88

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

<i>О.Р. Дорняк.</i> Математическое моделирование процесса сушки древесины.....	100
<i>Е.А. Памфилов, С.В. Лукашов, Я.С. Прозоров.</i> Модель механохимического разрушения деталей оборудования для производства технологической стружки.....	108

ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

<i>В.С. Куров, Н.П. Мидуков, А.О. Никифоров, М.В. Коваленко, Ю.Г. Мандре, Э.Л. Аким.</i> Установка для экстракции арабиногалактана из древесины ливенницы на базе роторно-пульсационного аппарата.....	117
--	-----

<i>В.П. Короткий, В.И. Великанов, Н.И. Богданович, В.И. Роцин, И.Ф. Водопьянов, И.В. Чечет.</i> Разработка новых технологий получения лекарственных форм для ветеринарной медицины на основе живицы сосновой.....	125
<i>М.Л. Демидов, А.В. Гурьев.</i> Разработка и оптимизация режимов варки полуцеллюлозы из осины.....	134
<i>М.Ф. Галиханов, Л.Р. Мусина.</i> Изменение показателей физико-механических свойств гофрокартона при его покрытии полиэтиленом.....	143
<i>КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ</i>	
<i>Т.Б. Сродных, Е.И. Лисина.</i> Динамика видового состава и основных параметров насаждений бульваров г. Екатеринбурга за 13-летний период.....	149



CONTENTS

FORESTRY

<i>E.M. Romanov, T.V. Nureeva, N.V. Eremin.</i> Justification of Criteria and Indicators for Accelerated Growing of Forest Cultures.....	7
<i>E.N. Nakvasina, A.I. Barabin.</i> Practical use of Climate Change Forecasts for Forest Seed Growing in the European North.....	14
<i>N.A. Kharchenko, O.M. Korchagin.</i> Ecology of Natural Seed Regeneration of English Oak and Development of Second-Growth Oak Forests of the Central Forest-Steppe (Overview of the Problem, Part I).....	22
<i>I.N. Bolotov, M.V. Surso, B.Yu. Filippov, M.Yu. Gofarov, A.M. Tarakanov.</i> Changes in Tree Stands on Isolated Forest Islands in the East of Bolshezemelskaya Tundra for the Last 100 Years in a Changing Climate.....	30
<i>V.G. Gusev, V.K. Dubovy, E.L. Lopukhova, V.A. Iritsyen.</i> Method of Estimating Minimum Distance From the Base Strip to the Fire Edge During Controlled Burning Start.....	38
<i>D.N. Torbik, P.A. Feklistov, A.M. Tarakanov, B.A. Mochalov, S.V. Tretyakov.</i> Ecotone Effect in Forest Communities After Corridor Thinning.....	46
<i>A.Yu. Zakharov, E.N. Nakvasina.</i> Results of Three-Step Thinning in Mixed Pine Forests With Second Storey of Spruce.....	52
<i>Z.Ya. Nagimov, I.N. Artemyeva, V.Z. Nagimov.</i> Structure and Dynamics of Top Phytomass of Pine Stands in Lichen Forests.....	60
<i>V.V. Petrik, I.I. Drozdov, N.N. Vasilyeva, N.A. Kutakova.</i> Content of Biologically Active Substances (BAS) in Various Barberry Species Cultivated in the European North.....	67

WOODEXPLOITATION

<i>A.A. Kamusin, D.M. Levushkin.</i> Strengthening of Logging Road Surface.....	72
<i>A.S. Milyaev.</i> Forecasting of Freezing Parameters of Layered Bases of Winter Wood-Roads According to the Current Meteorological Data.....	78
<i>V.A. Yakimov, D.G. Myasishchev.</i> Setting Optimization Task for Assembling Forest Seeder on Walking Tractor Chassis.....	88

MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOODSCIENCE

<i>O.R. Dornyak.</i> Mathematical Modelling of Wood Drying Process.....	100
<i>E.A. Pamfilov, S.V. Lukashov, Ya.S. Prozorov.</i> Model of Mechanochemical Destruction of Chip Producing Equipment Parts.....	108

CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD

<i>V.S. Kurov, N.P. Midukov, A.O. Nikiforov, M.V. Kovalenko, Yu.G. Mandre, E.L. Akim.</i> Device for Extracting Arabinogalactan from Larch Wood on the Basis of Rotor-Pulsation Appliance.....	117
<i>V.P. Korotky, V.I. Velikanov, N.I. Bogdanovich, V.I. Roshchin, I.F. Vodopyanov, I.V. Chechet.</i> Development of New Techniques to Produce Pine Resin-based Drags for Veterinary Medicine.....	125

<i>M.L. Demidov, A.V. Guryev.</i> Development and Optimization of Pulping Conditions of Semi-Chemical Pulp From Aspen Wood.....	134
<i>M.F. Galikhanov, L.R. Musina.</i> Change of Physical-And-Mechanical Properties of Corrugated Board Covered With Polyethylene.....	143
<i>SUMMARIES AND EXCHANGE OF TEACHING</i>	
<i>T.B. Srodnykh, E.I. Lisina.</i> Dynamics of Species Composition and Basic Parameters of Plants on Yekaterinburg Boulevards Within a 13-Year Period.....	149



УДК 630*228.7

Е.М. Романов, Т.В. Нуреева, Н.В. Еремин

Поволжский государственный технологический университет

Романов Евгений Михайлович родился в 1948 г., окончил в 1971 г. Марийский политехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор Поволжского государственного технологического университета. Имеет более 150 печатных работ в области совершенствования технологий выращивания посадочного материала и искусственного лесовосстановления.

E-mail: rector@marstu.net



Нуреева Татьяна Владимировна окончила в 1987 г. Марийский политехнический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент Поволжского государственного технологического университета. Имеет около 50 печатных работ в области искусственного лесовосстановления и выращивания лесопосадочного материала.

E-mail: NureevaTV@marstu.net



Еремин Николай Васильевич родился в 1928 г., окончил в 1952 г. Поволжский лесотехнический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесных культур и механизации лесохозяйственных работ Поволжского государственного технологического университета, заслуженный лесовод Республики Марий Эл. Имеет более 130 научных трудов в области исследования состояния и результативности искусственных лесных насаждений ели, сосны обыкновенной и кедровой сибирской в Среднем Поволжье.

E-mail: EreminNV@marstu.net



ОБОСНОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЕРЕВОДА ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР В РЕЖИМ УСКОРЕННОГО ЛЕСОВЫРАЩИВАНИЯ*

Приведены аргументы в пользу организации ускоренного лесовыращивания в лесном фонде европейско-уральской части РФ. Дано обоснование возможности перевода существующих лесных культур в режим ускоренного лесовыращивания. Приведены отдельные критерии и показатели, которые могут быть основой для идентификации ускоренного лесовыращивания.

Ключевые слова: критерии, показатели, ускоренное лесовыращивание, лесные культуры, лесной фонд, искусственные насаждения сосны.

* Исследования выполнены в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 гг.» по теме: «Разработка инновационной системы эффективного устойчивого лесопользования и лесовосстановления на ландшафтно-типологической основе с использованием адаптивно-модульных образцов техники и инфотелекоммуникационных методов экомониторинга».

© Романов Е.М., Нуреева Т.В., Еремин Н.В., 2012

Заготовка древесины в спелых лесах, или, по выражению И.В. Шутова, «простое собирательство древесины в остающихся лесах» уже не может удовлетворять человека [3]. Необходимо расширять и совершенствовать искусственное выращивание древесины за более короткий срок и лучшего качества.

Возможность ускоренного получения целевых сортиментов имеется и может осуществляться несколькими путями: 1) организацией плантационных хозяйств в полном соответствии с положениями Лесного кодекса на землях лесного фонда и землях иных категорий [2]; 2) переводом лесных культур, соответствующих определенным критериям, в фонд ускоренного лесовыращивания.

В Поволжском регионе при передаче в аренду не зарегистрировано ни одного хозяйства с выделением участков под создание лесных плантаций, что свидетельствует о недостаточной заинтересованности в данном виде пользования. Период выращивания древесины с заданными свойствами может быть значительно сокращен, если идти по второму пути – выделение в фонд ускоренного лесовыращивания соответствующих определенным критериям участков лесных культур и обеспечение высоких темпов их роста. Данные критерии должны быть определены и научно обоснованы.

Наиболее перспективными для этих целей регионами в первую очередь являются Центральный и Приволжский федеральные округа (ЦФО и ПФО), где произрастает более половины (55,2 %) из 14 099,3 тыс. га созданных в европейско-уральской части РФ культур. Покрытые лесом земли этих округов имеют самые высокие средние приросты древесины всех насаждений, в том числе с преобладанием хвойных пород. Повышенная продуктивность лесов может объясняться значительным долевым участием в них лесных культур, имеющих более высокую, по сравнению с естественными насаждениями, производительность [5, 6].

Используя оригинальную методику определения оценочных показателей насаждений [4], на примере отдельных участковых лесничеств ПФО (Нолькинское в Республике Марий Эл, Качимское в Пензенской области) были проанализированы возможные перспективы организации ускоренного выращивания искусственных насаждений сосны для получения целевых сортиментов. Как показали исследования, из созданных лесных культур сосны более 8 ед. целевой породы в Нолькинском лесничестве Республики Марий Эл имеют 86, в Качимском Пензенской области – 66 % всех насаждений сосны. Культуры исследованных лесничеств относятся к высокополнотным насаждениям, в возрасте до 51 года полноту более 0,8 имеет каждый третий гектар Качимского лесничества и половина всех культур, созданных в условиях боров Нолькинского лесничества (табл. 1).

Площади культур сосны в возрасте 20...50 лет в условиях A_2 , B_2 , C_2 условно доминируют, превышая в 13–34 раза площади естественных сосновых древостоев. Культуры сосны характеризуются более высокими классами бонитета, из всех сосняков I класса бонитета искусственное происхождение в Нолькинском лесничестве имеют 68, в Качимском – 40 % древостоев.

Таблица 1

**Показатели состояния насаждений сосны различного происхождения
в возрасте 20...50 лет**

Лесничество	Тип лесорастительных условий	Происхождение насаждений	Площадь	Средневзвешенные значения				
				Запас, м ³ /га	Возраст, лет	Доля сосны	Полнота	Класс бонитета
Качимское	А ₂	Естественное	15,5	196,1	44,3	89 С	0,72	І,40
		Искусственное	202,3	218,7	44,9	90 С	0,82	І,36
		<i>Итого</i>	217,8	217,1	44,9	91 С	0,81	І,36
	В ₂	Естественное	10,3	213,5	45,5	89 С	0,75	І,27
		Искусственное	213,1	166,4	39,9	77 С	0,76	І,51
		<i>Итого</i>	223,4	168,5	40,2	78 С	0,76	І,50
	С ₂	Естественное	16,0	233,7	49,6	73 С	0,78	І,03
		Искусственное	274,5	214,6	42,6	75 С	0,76	І,22
		<i>Итого</i>	290,5	215,7	42,9	76 С	0,77	І,21
Нолькинское	А ₂	Естественное	23,4	38,5	32,9	73 С	0,63	ІІ,56
		Искусственное	376,4	90,1	33,5	85 С	0,67	І,65
		<i>Итого</i>	399,8	87,1	33,5	84 С	0,67	І,77
	В ₂	Естественное	–	–	–	–	–	–
		Искусственное	65,6	192,4	41,1	70 С	0,75	І,02
		<i>Итого</i>	65,6	192,4	41,1	70 С	0,75	І,02
	С ₂	Естественное	4,9	140,8	40,0	45 С	0,90	І,00
		Искусственное	169,4	213,0	38,5	65 С	0,84	І,00
		<i>Итого</i>	174,3	211,0	38,1	65 С	0,84	І,00

Искусственные насаждения сосны отличаются более высокой производительностью по сравнению с естественными (рис. 1). Все зафиксированные лесоустройством искусственные насаждения сосны в лесном фонде двух лесничеств, расположенных в зоне хвойно-широколиственных лесов европейской части РФ, – это результат деятельности нескольких поколений лесоводов, применения различных технологий и агротехники.

Исследование и анализ режимов выращивания наиболее устойчивых и производительных древостоев старших возрастов позволят разработать наиболее оптимальную технологию ускоренного выращивания сосновых культур.

Для насаждений искусственного происхождения, которые могли бы быть выделены в категорию ускоренного лесовыращивания, предлагается перечень идентификационных показателей (табл. 2), который может дорабатываться с выделением и обоснованием дополнительных критериев и показателей, учитывающих региональные условия.

Рис. 1. Изменение среднего запаса насаждений различного происхождения с учетом долевого участия в составе сосны при средних выровненных возрастах молодняков: *а* – Нолькинское, *б* – Качимское лесничество; 1 – естественные насаждения, 2 – лесные культуры

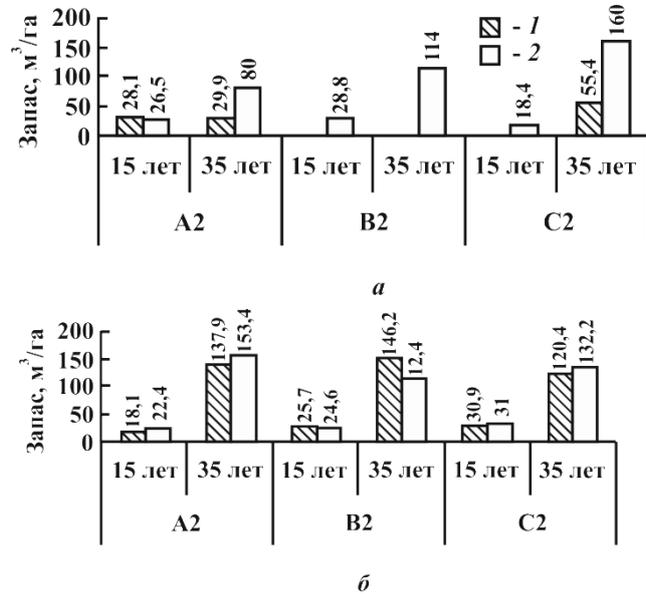


Таблица 2

Идентификационные показатели древостоев (насаждений) общего и ускоренного лесовыращивания (по материалам лесоустройства)

Показатель	Общие	Для перевода в фонд ускоренного лесовыращивания
Тип лесорастительных условий	Все типы	Только A ₂ , B ₂ , C ₂ , C ₃ *
Запас, м³/га	Общий	Верхнего полога
Возраст насаждений, лет	Всех возрастов	До 30 лет
Долевое участие целевой породы	1 ... 10 ед.	≥ 8 ед.
Полнота	Все группы	≥ 0,6
Класс бонитета	Все классы	I-II
Средний диаметр целевой породы	Все классы	<i>Необходимо разработать</i>
Средняя высота целевой породы	Всех деревьев	<i>Необходимо разработать</i>

* Тип лесорастительных условий для сосны – A₂, B₂, C₂, для ели – C₂, C₃.

Данное направление исследований, на наш взгляд, будет прорывным в деле существенного повышения эффективности лесопользования.

Анализ материалов учета лесного фонда четырех федеральных округов [1] показал, что в ПФО и ЦФО доля средневозрастных насаждений преобладает, и это вполне закономерно можно связать с интенсивным внедрением 20...50 лет назад искусственного способа лесовосстановления (рис. 2). В лесном фонде ЦФО каждый пятый, а в ПФО каждый седьмой гектар имеет искусственное происхождение, что может стать основой для формирования фонда ускоренного лесовыращивания и получения целевой древесины в более короткие сроки.

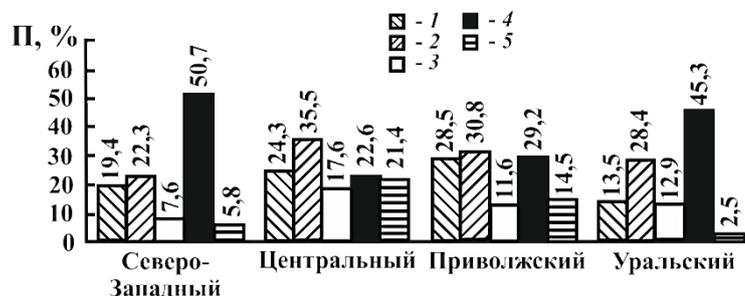


Рис. 2. Возрастная структура лесного фонда (П) округов европейско-уральской части РФ (по данным учета лесного фонда на 1.01.2007 г.): 1 – молодняки, 2 – средневозрастные, 3 – приспевающие, 4 – спелые и перестойные, 5 – в том числе лесные культуры

Нашими исследованиями и исследованиям других авторов [7] установлено, что на сотнях тысяч гектаров искусственных хвойных лесов произрастают древостои с подавляющим преобладанием в них мелколиственных пород. На сегодняшний день эти культуры по терминологии ФАО можно отнести к полустественным лесам, т.е. к искусственным насаждениям, которые копируют естественные леса (по составу пород, густоте и другим показателям) [5]. Анализ лесных культур сосны шести лесничеств Среднего Поволжья показал, что лишь в трех (Учебно-опытном, Кокшайском и Кададинском) площадь насаждений с 8...10 ед. сосны составляет 60 % от всех имеющихся, в остальных культивируемая порода вытесняется лиственными (табл. 3).

В лесном фонде лесничеств, пройденных лесоустройством за последнее десятилетие, появилась такая категория насаждений, как «насаждения с породами искусственного происхождения» во втором ярусе.

Для исправления сложившейся ситуации, прежде всего, необходимо усилить контроль за своевременным выполнением лесоводственных уходов. А при проведении плановой инвентаризации лесных культур и лесоустроительных работах следует предусмотреть выделение фонда ускоренного лесовыращивания с планированием мероприятий по формированию целевых насаждений, что позволит одновременно создавать условия для интенсивного роста древостоев с последующим получением крупнотоварной древесины, стоимость 1 м³ которой в 1,5 раза выше, чем деловой средних размеров. Кроме того, это даст возможность в результате промежуточного пользования получать мелкотоварную древесину для удовлетворения местных потребностей и усилит материальную заинтересованность арендаторов участков лесного фонда.

Таблица 3

**Распределение площади (га) древостоев (числитель)
по доле сосны (%) в составе (знаменатель)**

Лесничество (республика, область)	Происхо- ждение насаждений	Всего	10С	8-9С	6-7С	4-5С	≤3С
Учебно- пытный лесхоз МарГТУ	Есте- ственные	<u>7713,8</u> 100,0	<u>715,4</u> 9,3	<u>2041,8</u> 26,5	<u>2306,5</u> 29,9	<u>622,7</u> 8,1	<u>2027,4</u> 26,2
	Искус- ственные	<u>2314,5</u> 100,0	<u>991,0</u> 42,8	<u>663,8</u> 28,7	<u>485,5</u> 21,0	<u>146,5</u> 6,3	<u>27,7</u> 1,2
(Республика Марий Эл)	<i>Итого</i>	<u>10028,3</u> 100,0	<u>1706,4</u> 17,0	<u>2705,6</u> 27,0	<u>2792,0</u> 27,8	<u>769,2</u> 7,7	<u>2055,1</u> 20,5
Кокшайское (Республика Марий Эл)	Есте- ственные	<u>11593,4</u> 100,0	<u>2584,1</u> 22,3	<u>4038,5</u> 34,8	<u>3031,5</u> 26,2	<u>1835,5</u> 15,8	<u>103,8</u> 0,9
	Искус- ственные	<u>9556,9</u> 100,0	<u>6521,1</u> 68,2	<u>1513,0</u> 15,8	<u>1000,6</u> 10,5	<u>488,4</u> 5,1	<u>33,8</u> 0,4
	<i>Итого</i>	21150,3	9127,5	5586,3	4058,2	2339,7	138,5
Волжское (Республика Марий Эл)	Есте- ственные	<u>1585,6</u> 100,0	<u>458,6</u> 28,9	<u>435,6</u> 27,5	<u>300,0</u> 18,9	<u>159,3</u> 10,1	<u>232,1</u> 14,6
	Искус- ственные	<u>1881,4</u> 100,0	<u>273,9</u> 14,5	<u>553,4</u> 29,4	<u>473,2</u> 25,2	<u>404,0</u> 21,5	<u>176,9</u> 9,4
	<i>Итого</i>	3467	761,4	1016,5	792,1	573,3	423,6
Семеновское (Нижегород- ская область)	Есте- ственные	<u>7868,5</u> 100,0	<u>1299,9</u> 16,5	<u>2572,8</u> 32,7	<u>2540,3</u> 32,3	<u>1363,8</u> 17,3	<u>91,7</u> 1,2
	Искус- ственные	<u>4350,6</u> 100,0	<u>590,6</u> 13,6	<u>737,0</u> 16,9	<u>1359,6</u> 31,3	<u>1283,8</u> 29,5	<u>379,6</u> 8,7
	<i>Итого</i>	12219,1	1890,5	3309,8	3899,9	2647,6	471,3
Шабалин- ское (Киров- ская область)	Есте- ственные	<u>15153,9</u> 100,0	<u>1692,1</u> 11,2	<u>4100,31</u> 27,1	<u>4640,7</u> 30,5	<u>4239,2</u> 28,0	<u>481,6</u> 3,2
	Искус- ственные	<u>4913,7</u> 100,0	<u>304,0</u> 6,2	<u>1198,8</u> 24,4	<u>1708,6</u> 34,7	<u>1154,0</u> 23,5	<u>548,3</u> 11,2
	<i>Итого</i>	20067,6	2007,3	5326,2	6379,9	5421,2	1033,1
Кададинское (Пензенская область)	Есте- ственные	<u>1242,0</u> 100,0	<u>760,8</u> 61,3		<u>327,1</u> 26,3	<u>154,1</u> 12,4	0
	Искус- ственные	<u>1825,8</u> 100,0	<u>1201,6</u> 65,8		<u>254,2</u> 13,9	<u>313,5</u> 17,2	<u>56,5</u> 3,1
	<i>Итого</i>	3067,8	2023,7		607,6	480,0	56,5

Выводы

В ПФО и ЦФО имеется потенциал для интенсивного выращивания древесины целевого назначения при условии их перевода в фонд ускоренного выращивания.

Необходим контроль за своевременным выполнением лесоводственных уходов и формированием фонда ускоренного лесовыращивания на базе лесных культур, отвечающих разработанным идентификационным критериям и показателям. Это позволит не только получать мелкотоварную древесину при промежуточном пользовании, но и обеспечит условия для ускоренного лесовыращивания крупных и наиболее ценных сортиментов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственный учет лесного фонда. М.: Федеральное агентство лесного хозяйства. 2007. 880 с.
2. Лесной кодекс Российской Федерации. Комментарии / Под общ. ред. Н.В. Комаровой, В.П. Рошупкина. Изд. 2-е, доп. М.: ВНИИЛМ, 2007. 856 с.
3. Плантационное лесоводство / Под общ. ред. И.В. Шутова. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007. 366 с.
4. Романов Е.М., Еремин Е.В., Нуреева Т.В. Методика определения оценочных показателей искусственных насаждений при устойчивом управлении воспроизводством леса. Йошкар-Ола: Изд-во МарГТУ, 2009. 40 с.
5. Романов Е.М., Еремин Н.В., Нуреева Т.В. Перевод лесных культур сосны в лесные плантации: целесообразность и лесоводственно-экономическая эффективность // Лесн. хоз-во. 2010. № 6. С. 30–33.
6. Романов Е.М., Еремин Н.В., Нуреева Т.В. Состояние и проблемы воспроизводства лесов России // Вестн. МарГТУ. Сер. «Лес. Экология. Природопользование». 2007. № 1. С. 5–15.
7. Царев А.П. Мировой опыт плантационного лесовыращивания // Ученые записки ПетрГУ. 2010. № 6. С. 42–48.

Поступила 09.06.11

Е.М. Романов, Т.В. Нуреева, Н.В. Еремин
Volga State University of Technology

Justification of Criteria and Indicators for Accelerated Growing of Forest Cultures

The article presents a number of arguments in favor of organizing an accelerated forest growing in the forests of the European-Ural part of Russia. The possibility of accelerated growing of existing forest cultures is substantiated. Certain criteria and indicators that can form the basis for identification of accelerated forest growing are named.

Key words: criteria, indicators, accelerated forest growing, forest cultures, forest resources, pine stands.

УДК 630*232:551.583

Е.Н. Наквасина, А.И. Барабин

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

Наквасина Елена Николаевна окончила в 1975 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесоводства и почвоведения Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет более 200 печатных работ в области исследований экосистем, биогеоценозов, биологии и экологии хвойных.
E-mail: nakvasina@agtu.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 около 150 печатных работ в области лесосеменного мониторинга древесных пород на Европейском Севере России.
Тел.: 8(8182) 21 61 56



ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ ДЛЯ ЛЕСНОГО СЕМЕНОВОДСТВА НА ЕВРОПЕЙСКОМ СЕВЕРЕ

Рассмотрены региональные особенности прогноза климатических изменений и возможности их учета при использовании семян для лесовосстановления на Европейском Севере. Показана необходимость сохранения генетического фонда уникальных лесов региона и преждевременность увеличения использования инорайонных семян.

Ключевые слова: изменения климата, прогнозирование, интродукция семян, лесное семеноводство, лесовосстановление.

Проявляющееся в последние десятилетия потепление климата предполагает возможность корректировки поставок инорайонных семян для лесовосстановления на Европейском Севере. При практическом применении прогнозов необходимо учитывать как региональные особенности ожидаемых климатических изменений, так и своеобразие современного генофонда лесных пород региона. Для решения вопросов расширения интервенции инорайонных семян на Север, прежде всего, необходимо выявить направления прогнозируемых изменений и тенденции современного состояния климатических характеристик в глобальном и региональном аспектах, прогнозируемые последствия климатических изменений, связанные с вегетативной и генеративной сферой хвойных пород, перспективы развития социально-экономических особенностей страны и региона.

© Наквасина Е.Н., Барабин А.И., 2012

Факт глобального потепления климата не вызывает сомнений [5, 6, 9]. Происходит рост температуры воздуха, уменьшение площади морского льда, повышение уровня моря. В течение столетия (1907–2006 гг.) изменение средней глобальной температуры воздуха составило $(0,74 \pm 0,18)$ °С, особенно сильно оно проявлялось в последние 50 лет. За 10 лет изменение равно 0,1 °С. Примерно такие же значения повышения средней температуры в приповерхностном слое воздуха приводит С.М. Семенов [18, 19]: за последние 100...140 лет она увеличилась на 0,6 °С и к 2100 г. превысит базовые значения (естественные изменения) примерно на 2,0 °С, увеличившись по сравнению с 1990 г. на 1,4...5,8 °С. По данным Е.П. Кашкарова и О.А. Поморцева [7], для всей Земли рост среднегодовой температуры составил 1,1 °С. Устойчивое потепление отмечено с конца 70-х годов прошлого века. Нарастание температуры до уровня, в 2 раза превышающего сегодняшний, должно произойти в ближайшие 200 лет, которые и будут наиболее теплыми. Потепление будет сопровождаться ростом влажности воздуха и почв.

Согласно Четвертому оценочному докладу МГЭИК (ОД4) [6] прогнозируемое потепление будет долгим и не может быть ослаблено естественным похолоданием климата Земли в ближайшие несколько тысяч лет.

В XXI в. наиболее сильное потепление, связанное с увеличением осадков, прогнозируется в северных широтах. Потепление климата на территории России оказалось более значительным, чем глобальное: за последние 35 лет среднее изменение температуры приземного слоя воздуха составило $(1,35 \pm 0,40)$ °С, средняя скорость роста температуры по России – 0,29 °С за 10 лет с максимумом зимой 0,40 °С [5, 9]. Среднее потепление для территории России 1,0 °С [21]. Однако в пределах ее территории потепление маскируется большой естественной изменчивостью температуры [9]. По данным Ю.П. Переведенцева и К.М. Шанталинского [16]: в приполярной зоне потепление – 2,36, в умеренных широтах – 0,81, в тропиках – 0,50 °С.

Глобальное потепление неоднозначно проявляется в сезонном ходе температур. Наиболее выраженное потепление на территории России наблюдается в зимний и весенний периоды – до 0,4 °С за 10 лет (зимой – над континентом, весной – в высоких широтах) [5, 8, 16]. Согласно С.М. Семенову и др. [20], наибольшее потепление (более 1,0 °С) сказывается в весенний период, тогда как осенью, зимой и летом проявляется эффект похолодания. При этом стабильно увеличиваются суммы температур выше +5 и +10 °С, возрастают суммы осадков примерно на 0,5...1,0 % за 10 лет.

Европейский Север (Баренц-регион) по прогнозу специалистов по глобальной экологии может оказаться эпицентром климатических изменений. Зона гидротермического оптимума сместится к северу. По разным прогнозам приземная температура воздуха может увеличиться на 1,5...4,5 °С [1, 2, 5, 10, 17, 21]. По данным Н.А. Завельской и др. [17], наиболее сильный рост температуры произойдет в Мурманской и Архангельской областях, по мнению И.И. Мохова, А.В. Елисеева, П.Ф. Демченко и др. [8], – в Сибири.

Данные С.М. Семенова и др. [19] указывают, что наибольшее потепление будет в холодный сезон в высоких широтах Северного полушария – на 40 % больше среднего глобально потепления, тогда как в более южных районах уровень потепления будет ниже среднего.

Потепление на Севере в настоящее время пока уступает потеплению 30-х годов [23]. Средняя температура воздуха в Архангельске повысилась на 0,4 °С, а в Нарьян-Маре – на 0,6 °С. При этом аномальное превышение достигло +2,0 °С.

Более того, на территории Европейского Севера в настоящее время фиксируется территориальная дифференциация потепления, связанная с зональностью, что необходимо учитывать при практическом применении прогнозов. Ю.Г. Шварцман [23] утверждает, что на севере (севернее 64° с.ш.) продолжается снижение средних многолетних температур (Тромсё), либо их незначительное повышение. По данным С.М. Семенова и др. [19], на территории России, расположенной южнее 60° с.ш., сумма средних температур за год увеличивается на 100 °С·сут, севернее – уменьшается. Средняя температура приземного слоя воздуха снизилась на 0,5 °С, но увеличилась ее изменчивость. Слабый отрицательный тренд температуры с возрастанием облачности отмечен для северных регионов страны в официальных обзорах [5].

Проявление локальных похолоданий в период глобального потепления вполне возможно и, вероятно, связано с климатической изменчивостью и незавершенностью естественных процессов. К тому же, региональные тренды могут быть обусловлены различным антропогенным воздействием [8].

Прогнозируемое изменение климата может оказать серьезное воздействие на лес как многоуровневую систему, компоненты которой обладают разной степенью ответной реакции на климатические изменения. Это может привести к нарушению их функционирования и устойчивости [21].

Прогнозирование реакции роста и продуктивности сосны в настоящее время дается по сравнительным характеристикам ее насаждений, произрастающих в различных климатических условиях. Единственной природной моделью, реально демонстрирующей уровень изменения вегетативных и генеративных процессов сосны обыкновенной на потепление климата, являются географические культуры [25], где в одних условиях произрастания выращиваются потомства различного географического происхождения. Перемещение потомства сосны с севера на юг имитирует потепление. Выращивание северных экотипов сосны в культурах на различной широте позволяет оценить реакцию их роста и развития при различном уровне изменения термического фактора [13–15].

Результаты, полученные при изучении роста и продуктивности потомств различного географического происхождения, дают перспективную картину ожидаемых изменений в молодняках, что важно для северных регионов, где не только велика доля молодых насаждений в структуре лесного фонда, но и проводятся лесовосстановительные работы при сплошных рубках. Немаловажна также оценка корректив переброски (интродукции)

инорайонных семян хвойных пород – сосны, ели, лиственницы, используемых для лесовосстановления на Европейском Севере России.

Согласно нашим исследованиям, проведенным в географических культурах сосны, места исходного произрастания которых расположены севернее пункта испытания, реакция на потепление у климатипов, произрастающих на разной географической широте, будет не однозначна (см. таблицу). На нее повлияет наследственная адаптивность породы к условиям произрастания, что связано с ее послеледниковой миграцией в северном направлении. Наиболее отзывчива сосна из Субарктики, адаптационная приспособленность к холодному климату северных широт у которой закреплена в генотипе не полностью [26]. Глобальное потепление климата, прогнозируемое в северных широтах, вызовет значительные изменения в росте сосны по высоте и диаметру, начиная с молодого возраста, в структуре популяций по репродуктивным особенностям. Так, при потеплении у сосны значительно увеличится радиальный и линейный приросты, возрастет объем ствола и общая производительность насаждений, повысится число семеносящих деревьев, урожай и качество семян, сократится периодичность семенных лет.

Динамика изучения географических культур, расположенных в 4 пунктах испытания на территории Европейского Севера [3], доказывает лучший рост потомства местных популяций и необходимость сужения границ перебросок инорайонных семян хвойных пород в регион по сравнению с действующим Лесосеменным районированием [11]. По результатам испытания географических культур сосны и ели 2-го класса возраста установлены следующие придержки: в Мурманскую область семена сосны и ели можно перемещать из лесничеств, расположенных не южнее 64° с.ш.; в северную и среднюю подзоны тайги – в пределах 63...58° с.ш. для ели и 63...59° с.ш. для сосны. Границы использования инорайонных семян в Вологодской области несколько шире, в частности территория поставки на север области (средняя подзона тайги) семян сосны и ели составляет 58...63° с.ш., на юг области (южная подзона тайги) – 61...56° с.ш. Дальность переброски с запада на восток должна ограничиваться 12° в.д.

При прогнозируемых изменениях климата использование семян более южных потомств не даст ощутимой прибавки в продуктивности древостоев, выращенных из них. В лучшем случае рост и продуктивность древостоев будут на уровне или близки местным средне- и южнотаежным потомствам. Это, несомненно, снивелирует проблему поставки на север инорайонных семян.

Учитывая явление «адаптивного запаздывания» (примерно на 100 лет) ответной реакции вида на климатические изменения [24] и высокую толерантность лесных экосистем, позволяющую им переносить неблагоприятные воздействия внешней среды, правомерно предположить, что наблюдаемые климатические изменения еще не вызвали их ответного отклика. В ближайшие 30...40 лет климатические изменения не создадут резкого ухудшения условий, требующихся для нормального развития основных лесобразующих пород [21].

**Рост и продуктивность сосны обыкновенной северного происхождения
в географических культурах Европейского Севера России**

Происхождение культур*		Прижи- ваемость, %	Высота, м	Диаметр на высоте 1,3 м, см	Запас** стволовой древесины, м ³
Область (республика), лесхоз	с.ш.				
Плесецкий лесхоз Архангельской области (62°54' с.ш., 40°29' в.д.), 21-летние культуры					
Мурманская, Мончегорский	67°57'	75,6	5,2	7,6	8,6
Мурманская, Кандалакшский	67°00'	68,3	6,1	7,9	9,7
Карелия, Чупинский	66°22'	65,9	6,9	8,1	11,1
Архангельская, Пинежский	64°45'	73,0	5,6	9,2	13,0
Архангельская, Плесецкий	62°54'	61,3	6,2	10,2	14,8
Корткеросский лесхоз Республики Коми (61°41' с.ш., 51°31' в.д.), 22-летние культуры					
Мурманская, Мончегорский	67°57'	44,7	3,4	3,8	0,9
Мурманская, Кандалакшский	67°00'	44,3	4,8	4,9	1,9
Карелия, Чупинский	66°22'	40,0	6,9	7,0	4,9
Архангельская, Пинежский	64°45'	47,2	7,1	8,4	8,7
Архангельская, Плесецкий	62°54'	23,2	7,2	8,8	4,8
Карелия, Медвежьегорский	62°54'	45,3	6,3	8,8	8,2
Коми, Корткеросский	61°41'	58,0	7,6	8,8	12,8
Череповецкий лесхоз Вологодской области (59°15' с.ш., 37°57' в.д.), 24-летние культуры					
Архангельская, Плесецкий	62°54'	86,2	7,2	7,6	13,3
Карелия, Медвежьегорский	62°54'	75,5	7,5	8,0	13,5
Карелия, Сортавальский	62°54'	78,7	8,2	8,9	19,0
Вологодская, Тотемский	60°00'	78,8	8,5	9,0	20,1
Вологодская, Череповецкий	59°15'	73,2	9,0	9,7	22,9

* Номенклатура лесохозяйственных предприятий приведена согласно государственному реестру географических культур.

**Запас древесины в коре на корню в расчете на 1000 высаженных растений с учетом числа прижившихся.

Рассматривая интервенцию инорайонных семян на север, необходимо помнить, что именно на территории Европейского Севера сосредоточен наиболее ценный генофонд лесов, определяемый запасом накопленной изменчивости краевых популяций [4, 7, 20], которые должны стать рефугиумами современных лесов – базой для естественного расселения в случае утраты лесов южных регионов в период глобального потепления. Массовые поставки инорайонных семян, как правило, более южного происхождения, нарушат гомеостаз северных популяций и вызовут «загрязнение» генофонда.

Привлечение инорайонных семян для лесовосстановления хвойных пород на Европейский Север обусловлено скорее коммерческими и социальными причинами, чем потребностью избежать негативных ответных реакций лесобразующих видов. Интервенция южных семян сосны, ели, лиственницы должна вестись обоснованно, с учетом региональных особенностей климатических изменений, потенциальной реакции вида на потепление и перспектив сохранения биоразнообразия на планете. Учитывая нестабильность климатических изменений на Европейском Севере в настоящее время и необходимость сохранения генетического фонда уникальных лесов региона, расширение границ поставок инорайонных семян считаем преждевременным. Для лесовосстановительных работ в осуществляемых объемах создания лесных культур вполне возможна заготовка местных семян и дополнение поставок семян согласно действующему Лесосеменному районированию [11].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антропогенные изменения климата. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 406 с.
2. Будыко М.И. Климат конца XX века // Метеорология и гидрология. 1988. № 10. С. 5–24.
3. Географические культуры в ген-экологических исследованиях на Европейском Севере / Е.Н. Наквасина [и др.]. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2008. 307 с.
4. Гертих М. Генетическая ценность местной сосны обыкновенной // Лесная генетика, селекция и физиология древесных растений: материалы Междунар. симпоз. 25–30 сент. 1989 г., Воронеж. М., 1989. С. 24–28.
5. Изменение климата. Обзор состояния и тенденций изменения климата России / Г.В. Грота [и др.]. М.: Институт глобального климата и экологии, 2005. 20 с.
6. Изменение климата. Общий доклад: доклад МГЭИК. Вклад рабочих групп 1, 2, 3 в Четвертый доклад об оценке МГЭИК / Под ред. Р.К. Пачаури [и др.]. Женева, Швейцария, 2007. 104 с.
7. Кашкаров Е.П., Поморцев О.А. Глобальное потепление климата: ритмическая основа прогноза и ее практическое значение в охране лесов северного полушария // Хвойные бореальной зоны. 2007. Т. XXIV, № 2-3. С. 207–216.
8. Климатические изменения и их оценки с использованием глобальной модели ИФА РАН / И.И. Мохов [и др.] // Докл. РАН. 2005. Т. 402, № 2. С. 243–247.
9. Климат России в XXI веке. Часть 1. Новые свидетельства антропогенного изменения климата и современные возможности его расчета / В.П. Мелешко [и др.] // Метеорология и гидрология. 2008. № 6. С. 5–19.

10. *Коллин Г.Е.* Возможная реакция лесообразовательного процесса на грядущие изменения климата // Лесоведение. 1996. № 5. С. 34–41.
11. Лесосеменное районирование основных лесообразующих пород в СССР. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 366 с.
12. *Мохов И.И., Карпенко А.А., Стотт П.А.* Наибольшие скорости регионального потепления климата в последние десятилетия с оценкой роли естественных и антропогенных причин // Докл. РАН. 2006. Т. 406, № 4. С. 1–4.
13. *Наквасина Е.Н.* Географические культуры сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) как природная модель имитации климатических изменений // Вестн. Помор. ун-та. 2003. Вып. 2, Т. 4. С. 48–53.
14. *Наквасина Е.Н.* Модель роста молодняков сосны обыкновенной на ожидаемое потепление климата // Проблемы, прогноз ситуации, пути развития, решения: материалы междунар. конф. «Экология северных территорий России». Т.1. Архангельск: ИЭПС, 2002. С. 358–363.
15. *Наквасина Е.Н.* Прогноз реакции роста и формирования генеративной сферы сосны обыкновенной в связи с изменениями климата // Поморье в Баренц-регионе на рубеже веков: экология, экономика, культура: материалы междунар. конф. Архангельск: ИЭПС УрО РАН, 2000. С. 163.
16. *Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М.* Особенности проявления современного глобального потепления климата в различных регионах Северного полушария в последние десятилетия // Вестн. Удмурд. ун-та. 2008. Вып. 2. С. 23–14.
17. Прогноз влияния изменений климата на бореальные леса России / Н.А. Завельская, Н.В. Зукерт, Е.Ю. Полякова, А.А. Пряжников // Лесоведение. 1993. № 3. С. 16–24.
18. *Семенов С.М.* Парниковые газы и современный климат Земли М.: Изд. центр «Метеорология и гидрология», 2004. 175 с.
19. *Семенов С.М., Ясюкович В.В., Гельвер Е.С.* Выявление климатических изменений. М.: Изд. центр «Метеорология и гидрология», 2006. 325 с.
20. *Федорков А.Л.* Адаптация хвойных пород к бореальному климату Северной Европы // Лесоведение. № 3. 2007. С. 46–51.
21. *Цветков В.Ф., Чибисов Г.А.* Проблемы лесоведения на Европейском Севере // Лесоведение. 1993. № 5. С. 11–18.
22. Четвертое национальное сообщение Российской Федерации / Под ред. Ю.А. Израэля [и др.]. М.: АНО «Метеоагентство Росгидромета», 2006. 164 с.
23. *Шварцман Ю.Г.* Изменения климата и их ожидаемые последствия на Европейском Севере // Вестн. Помор. ун-та. Сер.: Естеств. и точные науки. 2001. № 1 (2). С. 10–17.
24. Genetic variation in cessation of growth and frost hardiness and consequences for adaptation of *Pinus sylvestris* to climatic changes / O. Savolainen [et al.] // Forest Ecology and Management. 2004. № 197. P. 79–89.
25. *Lindgren D., Persson A.* Vitalization of results from provenance tests // Caring for the Forest: Research in a Changing World: Poster Abstracts IUFRO XX World Congress, 6–12 august 1995. Tampere, Finland, 1995. P. 249.
26. *Luomajoki A.* Climatic adaptation of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in Finland based on male flowering phenology // Acta forest fennica. 1993. 237. P. 1–27.

Поступила 20.10.11

E.N. Nakvasina, A.I. Barabin

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

Practical use of Climate Change Forecasts for Forest Seed Growing in the European North

The article considers regional characteristics of climate change forecasts and possibility of their record when using seeds for reforestation in the European North. The authors substantiate the necessity of protecting the genetic fund of unique forests in the region and find that it is too early to increase the use of seeds from other regions.

Key words: climate change, forecast, seed introduction, forest seed growing, reforestation.

УДК 630*231.1+630*182.21

Н.А. Харченко, О.М. Корчагин

Воронежская государственная лесотехническая академия

Харченко Николай Алексеевич родился в 1935 г., окончил в 1960 г. Воронежский лесотехнический институт, доктор биологических наук, профессор кафедры экологии, защиты леса и лесного охотоведения Воронежской государственной лесотехнической академии, засл. лесовод РФ. Имеет свыше 200 научных работ в области экологии, защиты леса и лесного охотоведения.

Тел.: 8(4732) 53 71 19



Корчагин Олег Михайлович родился в 1964 г., окончил в 1986 г. Воронежский лесотехнический институт, кандидат биологических наук, доцент кафедры ботаники и физиологии растений Воронежской государственной лесотехнической академии. Имеет свыше 50 научных работ в области экологической физиологии, анатомии и морфологии древесных растений.

E-mail: omkorchagin@mail.ru



ЭКОЛОГИЯ ЕСТЕСТВЕННОГО СЕМЕННОГО ВОЗОБНОВЛЕНИЯ ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО И РАЗВИТИЕ ПОРОСЛЕВЫХ ДУБРАВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЛЕСОСТЕПИ (ОБЗОР ПРОБЛЕМЫ, ЧАСТЬ I)

Представлена первая часть обзора проблемы возобновления дуба с выделением трех феноменов развития дубрав в Центральной лесостепи.

Ключевые слова: дуб черешчатый, возобновление дуба, развитие дубравы, лесостепь.

Основной лесообразующей породой лиственных лесов Центральной лесостепи РФ является дуб черешчатый (*Quercus robur* L.). В последние десятилетия происходит интенсивное сокращение площади дубрав, уменьшение доли семенного дуба в их составе. Высокопродуктивных семенных дубрав почти не осталось [5, 8, 18, 21, 22 и др.].

Во всех инструкциях, рекомендациях и других нормативных документах для лесного комплекса лесостепной зоны в качестве первоочередной ставится задача создания семенных дубрав и перевод малопродуктивных дубрав порослевого происхождения в семенные [14 – 17 и др.]. В связи с тем, что эта задача не выполняется, проблема возрождения дубрав Центральной лесостепи РФ, т. е. создание семенных дубовых насаждений, остается исключительно острой, а учитывая большое хозяйственное и средообразующее значение дуба черешчатого для данной климатической зоны, по-прежнему чрезвычайно важной для региона и значимой для России в целом.

Как бы ученые ни оправдывали свою научную и практическую деятельность, но факты красноречиво и недвусмысленно свидетельствуют о том,

что в последние десятилетия не получено новых площадей семенного дуба, а скорее наоборот – происходит их утрата. Кроме того, сокращаются площади и порослевых дубрав, а их состояние продолжает ухудшаться. Для создания семенных дубрав, высокопродуктивных и высокоустойчивых к неблагоприятным факторам среды, требуется разработка теоретических основ и практических рекомендаций развития дубравы с учетом современных условий.

С чего начинается семенная дубрава? С обильного урожая желудей, дружных всходов, здорового самосева и благонадежного подростка. На самых ранних этапах жизни молодых дубков происходит их массовое отмирание. Поэтому ключевым местом в решении этой проблемы, по нашему твердому убеждению, является естественное семенное возобновление дуба черешчатого. Но, как ни парадоксально, именно этот вопрос является самым уязвимым и наименее проработанным.

Коль скоро площадь семенных дубрав не только не увеличивается, а напротив, сокращается, то следует признать, что естественное семенное возобновление дуба черешчатого изучено явно не достаточно. Даже принципиальный вопрос о наличии естественного возобновления дуба остается дискуссионным. Причины таких споров заключаются в ошибочной интерпретации учеными своих результатов, в различном понимании ими самого понятия «естественное семенное возобновление дуба черешчатого».

Часто исследователи, отмечая слабый урожай желудей, единичные особи самосева и ни единой особи подростка дуба, констатируют отсутствие его естественного возобновления. И напротив, обильный самосев дуба под материнским пологом характеризуют как хорошее естественное возобновление. В обоих случаях интерпретация полученных результатов ошибочна. Естественное семенное возобновление дуба черешчатого (далее естественное возобновление дуба) – это непрерывный процесс, начинающийся с урожая желудей, появления всходов, самосева с последующим развитием подростка до достижения им высоты, составляющей четверть от высоты материнского полога.

Даже в самые неурожайные и неблагоприятные для прорастания желудей годы на один гектар дубрав осенью опадают тысячи желудей и появляются немногочисленные всходы. Поэтому в порослевых дубравах Центральной лесостепи естественное возобновление дуба идет практически всегда. Другое дело, полностью ли оно реализуется? Абсолютное большинство исследователей констатируют отсутствие дубового подростка под пологом порослевых дубрав. В годы самых обильных урожаев желудей, с последующим массовым появлением самосева, формируются, как правило, единичные экземпляры ослабленного подростка с дальнейшим его полным отмиранием [2, 11, 19 и др.].

Одной из основных причин гибели дубового подростка под материнским пологом, наряду с недостатком влаги, корневой конкуренцией и др., является дефицит фотосинтетически активной радиации (ФАР) [1, 3, 4, 6, 7, 9, 10, 25 и др.]. Подпологовая освещенность сильно зависит от структуры насаждения. В свою очередь, сама освещенность непостоянна. С одной стороны, она имеет

сложную сезонную и суточную динамику, с другой – в каждый момент времени она отличается целым рядом важных характеристик: интенсивностью освещения, его структурой, продолжительностью и спектральным составом света. Средняя освещенность в порослевой дубраве, непосредственно под пологом, составляет от 1 (0,25) до 5 (6...8) % от полного солнечного освещения (ПСО), не считая разрывов в материнском пологе («окон»), полян, опушек и др.

Модельные опыты по изучению затенения на рост прегенеративных особей дуба черешчатого, исключая многочисленные пространственно-временные колебания внешней среды, показали, что освещенность 5 % от ПСО является критическим стрессором для прегенеративных особей дуба черешчатого, вызывающим у них необратимые физиологические и морфолого-анатомические изменения, влекущие за собой их гибель [3, 23 и др.]. Таким образом, средний уровень подпологового затенения в дубраве столь низок, что нормальное развитие особей естественного семенного возобновления дуба под материнским пологом невозможно.

Под пологом порослевых дубрав встречаются дубки разных начальных этапов роста (возрастное состояние по И.Г. Серебрякову p , j , $im-1$, $im-2$ (где p – всход (растение первого года жизни); j – ювенильная особь (одноосное неветвящееся растение), im – имматурные особи (начало ветвления); v – виргинильные особи (молодые узкокронные деревья, готовые к плодоношению); G – генеративные особи (способные к цветению и плодоношению); s – сенильные особи (этап активного старения)). В послеурожайные годы отмечается массовое появление всходов, самосева.

Однако особи старше 5 лет встречаются редко, имеют измененную морфологическую структуру (аэроксильный куст, «торчок» и др.) и в целом отличаются низким жизненным состоянием. Нормально развитых виргинильных ($v-1$, $v-2$) особей дуба черешчатого под пологом порослевых дубрав нет.

При образовании окон в материнском пологе (ывал старовозрастных деревьев, ветровал и др.) освещенные места активно занимают спутники дуба (клен остролистный, ясень обыкновенный, липа мелколистная и др.). Это происходит потому, что всходы, самосев и подрост этих видов более теневыносливы, чем у дуба черешчатого, и особи их подростка с высоким жизненным состоянием и в достаточном для возобновления количестве постоянно имеются под пологом порослевой дубравы. Это дает им решающее преимущество в конкурентной борьбе за свет, которого при больших разрывах лесного полога бывает и достаточно для развития дубового подростка, но под пологом порослевых дубрав его нет. Рост появляющихся всходов и самосева дуба полностью подавляется уже окрепшим подростом его спутников. Всходы и самосев дуба не успевают вырасти на образовавшихся достаточно освещенных участках, и их способна заглушить даже травянистая растительность, ибо дубки в первые годы жизни растут в высоту относительно медленно.

Таким образом, естественное семенное возобновление дуба черешчатого в порослевых дубравах Центральной лесостепи идет практически всегда, но процесс этот реализуется не полностью – не далее образования его самосева и единичных особей нежизнеспособного подростка.

Если дуб черешчатый в силу своих биологических особенностей не способен нормально развиваться под материнским пологом, а сама дубрава из-за своей пространственно-временной структуры не позволяет самосеву нормально развиваться, то напрашивается вывод о невозможности порослевой дубравы к самовозобновлению. Значит, в течение нескольких сот лет они должны были бы уже исчезнуть. Однако порослевые дубравы существуют. И это *первый феномен* дубрав Центральной лесостепи: они не способны к самовозобновлению, но они есть!

Этот феномен объясним, если область рассматриваемой проблемы расширить от лесных экосистем к экосистеме более высокого порядка – лесостепи. Лесостепь – это единая экосистема, которая развивается по своим внутренним и внешним законам: «движется», превращается, видоизменяется. С точки зрения небольших промежутков времени, лесостепь – это леса, окруженные степью, или степь, включающая участки леса. Однако, с точки зрения больших временных этапов, лес и степь – это элементы одного целого, неразрывно связанные между собой, которые постоянно движутся, взаимопревращаются. Подтверждением тому многочисленные работы по остепнению лесов и облесению степей.

Выше было отмечено, что освещенность непосредственно под пологом порослевой дубравы составляет в среднем до 5 % от ПСО, не считая разрывов в материнском пологе, полян, опушек. Однако и окна в лесном пологе, и поляны, и опушки являются неотъемлемыми элементами дубравы. Именно здесь может быть полностью реализован и частично реализуется процесс естественного семенного возобновления дуба черешчатого. Таким образом, дубрава движется в сторону периферии сомкнутого полога, причем не только во внешнюю сторону, но и внутрь самой себя, если там есть достаточные для роста дубков разрывы лесного полога.

Следовательно, дубрава как элемент лесостепи движется. Должна двигаться. Однако в последние столетия естественного, а значит существенного движения порослевых дубрав в сторону степи не отмечено. И это *второй феномен* порослевых дубрав Центральной лесостепи: возобновление дуба идет преимущественно по периферии дубрав, которые, естественно, должны двигаться в сторону периферии. Но этого движения нет!

Этот феномен также объясним. Посмотрим, что окружает дубравы. По большей части это дороги и сельскохозяйственные угодья. В последние столетия люди существенно изменили естественную структуру лесостепи: на фоне общего снижения лесистости дубравы оказались окружены сетью дорог и «закованы в панцирь» ежегодно возделываемых сельскохозяйственных полей. По существу на месте лесостепи создана новая ландшафтная структура – лесополье, т.е. искусственно созданная экосистема на месте лесостепи, естественное развитие которой в результате хозяйственной деятельности людей нарушено. Внутренние закономерности развития лесостепи не могут быть реализованы. Процесс естественного для лесостепи семенного возобновления дубравы в условиях лесополья полностью исключен: на сельскохозяйственных полях любой «некультурный» вид рассматривается как сорняк и незамед-

лительно уничтожается. К счастью в этом явлении есть исключение – это участки дубрав, примыкающие к землям, не пригодным для сельскохозяйственного пользования, но еще пригодным для роста дуба. Чаще всего это овражно-балочная сеть, куда уходит дубрава. В данном случае, редкие участки естественного развития дубрав еще сохраняются. Отмечен этот процесс и в заповедниках, где хозяйственная деятельность человека ограничена и сохраняется возможность изучения не только выхода дубравы в степь, взаимоотношений степи и леса в целом. Однако описанные выше примеры не могут даже частично компенсировать того коренного нарушения в развитии дубрав, которое уже произошло и продолжает происходить в настоящее время.

Таким образом, с одной стороны, дубрава не возобновляется в месте ее роста, с другой – ей не дают естественно развиваться, т. е. двигаться за пределы места ее произрастания. Следовательно, дубрава должна была полностью исчезнуть в течение нескольких столетий с начала нарушения человеком естественной структуры лесостепи, но дубравы еще сохраняются. И это *третий феномен* лесостепных дубрав, объяснение которого связано с биологическими особенностями породы.

Дуб черешчатый способен к активному вегетативному размножению в течение достаточно долгого промежутка времени развития отдельного растительного организма: от всходов и ювенильных особей (*p, j*) до генеративного (*G-1, G-2*) этапа своего развития. В лесоводственной литературе на прегенеративном этапе это называют перевершиниванием стволика. на генеративном этапе – порослеобразованием. Но суть ростовых изменений одна: формирование новой надземной части с сохранением старой корневой системы, формирование нового фенотипа с сохранением старого генотипа. В силу своей хозяйственной деятельности человек многократно проделывал эту операцию. Дубравы рубили и в большинстве случаев оставляли на порослевое зарастивание вырубок, так как это очень удобно и экономично: не нужно тратить средства и время на подготовку почвы (расчистка посевных или посадочных площадей, корчевка пней и др.) и создание лесных культур (заготовка желудей, непростое их хранение, посев, прополка лесных культур). В результате получают дубравы 5–7(8) генерации [12, 21, 22 и др.]. Что это за дубравы? У них давно сгнила их естественная стержневая корневая система и сформировалась другая, не характерная для данного вида. У них серьезно нарушена коэволюция растения-хозяина и его энто- и фитопатогенов. За многие жизненные циклы надземной части они накопили избыточное количество инфекции, не характерное для особей семенного происхождения. В итоге имеем клоны, которые отличаются от особей семенного происхождения низкой продуктивностью и очень слабой устойчивостью к условиям среды. С каждой новой генерацией эти процессы еще более усугубляются. Подтверждением тому служит обширная научная информация о деградации порослевых дубрав не только в Центральной лесостепи, но и по всему ареалу их распространения [12, 13, 20, 24 и др.].

Прилагается много усилий по разработке и совершенствованию хозяйственной деятельности в дубравах. Однако, какие бы ни создавались шкалы жизненных состояний дуба, как бы ни совершенствовались системы лесохозяйственных уходов и способы рубок и как бы их ни называли, следует признать, что это только полумеры и всегда будут полумерами. Ибо невозможно, с биологической точки зрения, повысить устойчивость к условиям внешней среды и продуктивность насаждения, у особей которого 500 лет назад сгнила материнская корневая система, которые за 500 лет накопили избыточное количество инфекции и представляют собой вырождающиеся клоны многочисленных генераций.

Но у вегетативной способности дуба к размножению есть и один большой плюс: благодаря поросли от пня в лесостепи сохранились «осколки» дубрав. Поросль «держит» дубраву на одном месте, хотя и не позволяет ей двигаться в сторону открытых пространств, что является нарушением естественного развития и ведет, соответственно, к ее ослаблению и вырождению, но, тем не менее, еще сохраняет дубраву.

Процесс деградации порослевых дубрав биологически закономерен, потому он неизбежен и неостановим. Только деградация семенных и порослевых дубрав – это не одно и то же.

Семенная дубрава уходит в степь здоровой. Сенильные (S) же особи семенного дуба, полностью прошедшие все возрастные этапы в естественные для вида сроки, к 500 (800...1000) годам естественно отмирают. Поэтому термин «деградация», как искусственное разрушение, по отношению к дубравам семенного происхождения вызывает сомнения.

Иное дело порослевая дубрава. В современных условиях, она «стоит» на месте и действительно деградирует. Уже у генеративных (G-1, G-2, G-3) особей с низким жизненным состоянием отмечаются признаки, характерные для сенильного этапа (суховершинность, избыток грибных заболеваний, трещины коры и прочее) и, как следствие, происходит преждевременное (в 80...120 лет) усыхание деревьев.

Таким образом, с учетом биологических свойств вида и пространственно-временного фактора развитие дубрав Центральной лесостепи РФ можно охарактеризовать следующим образом. Дубравы не способны под своим пологом сформировать благонадежный подрост дуба. Естественное развитие дубрав в лесостепи – это их движение в сторону открытых пространств, которое на современном этапе ограничено хозяйственной деятельностью человека. Тем не менее, дубравы еще сохранились благодаря их способности восстанавливаться порослевым путем. Порослевое происхождение ведет к снижению продуктивности дубрав, устойчивости их к условиям среды и, как следствие, ускорению процессов их закономерной и поэтому неизбежной деградации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев В.А. Световой режим леса. Л.: Наука, 1975. 228 с.
2. Бондаренко В.Д. О естественном возобновлении дуба // Лесн. хоз-во. 1987. № 5. С. 71–73.

3. *Веретенников А.В., Корчагин О.М.* Фотосинтез всходов древесных растений при различном режиме освещения // Лесн. журн. 1994. № 4. С. 45–47. (Изв. высш. учеб. заведений).
4. *Евстигнеев О.И.* Особенности развития широколиственных деревьев под пологом леса при различной освещенности // Ботан. журн. 1988. № 12. С. 1730–1736.
5. *Калиничено Н.П.* Дубравы России: моногр. М.: ВНИИЦлесресурс, 2000. 536 с.
6. *Касимов Д.В.* Особенности подпологовых культур дуба // Лесн. хоз-во. 2000. № 5. С. 18–20.
7. *Князева И.Ф.* Влияние переменного освещения на фотосинтез и рост сеянцев древесных пород // Лесоведение. 1970. № 5. С. 65–69.
8. *Лохматов Н.А.* О естественном возобновлении дубрав и его использовании // Лесовод-во и агролесомелиорация. 1988. № 76. С. 16–21.
9. *Малкина И.С., Ковалев А.Г.* Анатомическое строение листьев подроста в связи со световыми условиями произрастания // Лесоведение. 1973. № 1. С. 56–62.
10. *Молчанов А.Г., Молчанова Т.Г.* Распределение солнечной радиации в пологе дубового насаждения // Лесоведение. 2005. № 1. С. 52–62.
11. *Петров В.А.* Естественное возобновление дуба в биогруппах в свежих кленово-липово-снытьевых дубравах // Экология и леса Поволжья. 2002. № 2. С. 230–236.
12. *Писаренко А.И.* Глобальная деградация лесов и проблемы лесного хозяйства // Лесн. хоз-во. 1989. № 10. С. 5–10.
13. *Полянская А.В.* О причинах деградации дубрав // Лесоведение. 1991. № 5. С. 60–61.
14. Правила лесовосстановления: приказ МПР РФ №183 от 16.07.2007 «Об утверждении Правил лесовосстановления». Рег. № 10020. Зарегистр. 20.08.2007. 37 с.
15. Правила ухода за лесами: приказ МПР РФ №185 от 16.07.2007 «Об утверждении Правил ухода за лесами». Рег. № 10069. Зарегистр. 29.08.2007. 45 с.
16. Руководство по ведению хозяйства и восстановлению дубрав в равнинных лесах европейской части РФ. М.: ВНИИЛМ, 2000. 136 с.
17. Руководство по лесовосстановлению и лесоразведению в лесостепной, степной и полупустынной зонах европейской части РФ. Утв. Рослесхозом 13.12.1993 г. М.: Всерос. научн.-иссл. информ. центр по лесн. ресурсам РФ, 1994. 152 с.
18. *Рыжков О.В.* Состояние и развитие дубрав Центральной лесостепи. Тула: Наука, 2001. 182 с.
19. *Рыжков О.В.* Экологические факторы, ограничивающие естественное возобновление дуба в Центрально-черноземном заповеднике // Экология. 1994. № 5. С. 22–27.
20. *Селочник Н.Н.* Факторы деградации и восстановления дубрав // Информ. бюл. МОББ ВПС. 2002. № 1. С. 124–137.
21. *Турчин Т.Я.* Восстановление пойменных дубрав Дона: моногр. / Ростов н/Д: СКНЦ ВШ, 2003. 176 с.
22. *Турчин Т.Я.* Естественные дубравы Донского бассейна и их восстановление / М: ВНИИЛМ, 2004. 312 с.
23. *Харченко Н.А., Корчагин О.М., Заплетин В.Ю.* Характеристика устьичного аппарата листьев сеянцев *Quercus robur* L. в связи с различными условиями затенения // Лесн. журн. 2008. № 6. С. 85–90. (Изв. высш. учеб. заведений).
24. *Царалунга В.В.* Цикличность ускоренного отмирания дуба // Лесн. вестн. 2002. № 2. С. 31–35.

25. Цельникер Ю.Л., Малкина И.С. Влияние интенсивности света на развитие ассимиляционной поверхности листа у саженцев древесных пород // Лесоведение. 1976. № 3. С. 65–69.

Поступила 05.05.2010

N.A. Kharchenko, O.M. Korchagin
Voronezh State Academy of Forestry Engineering

Ecology of Natural Seed Regeneration of English Oak and Development of Second-Growth Oak Forests of the Central Forest-Steppe (Overview of the Problem, Part I)

The article presents the first part of the overview of the oak regeneration problem indicating three phenomena of oak forest development in the central forest-steppe.

Key words: English oak, oak regeneration, development of oak forests, forest-steppe.

УДК 630*165.1: 630*181.65

**И.Н. Болотов¹, М.В. Сурсо¹, Б.Ю. Филиппов², М.Ю. Гофаров¹,
А.М. Тараканов³**

¹Институт экологических проблем Севера УрО РАН

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

³ФГУ «Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства»

Болотов Иван Николаевич родился в 1977 г., окончил в 1999 г. Поморский государственный университет, доктор биологических наук, главный научный сотрудник лаборатории комплексного анализа наземной и космической информации для экологических целей, заместитель директора по научным вопросам Института экологических проблем Севера УрО РАН. Имеет более 100 научных публикаций в области эволюционной и популяционной экологии, ландшафтоведения, биогеографии, зоологии.

E-mail: inepras@yandex.ru



Сурсо Михаил Вольдемарович родился в 1961 г., окончил в 1983 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института экологических проблем Севера УрО РАН. Имеет 50 научных работ в области эмбриологии голосеменных.

E-mail: surso@iepn.ru



Филиппов Борис Юрьевич родился в 1974 г., окончил в 1997 г. Поморский государственный университет, доктор биологических наук, доцент, заведующий кафедрой зоологии и экологии Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет более 40 научных работ в области популяционной экологии.

E-mail: fby@yandex.ru.



Гофаров Михаил Юрьевич родился в 1977 г., окончил в 1999 г. Поморский государственный университет, кандидат географических наук, старший научный сотрудник ИЭПС УрО РАН. Имеет более 20 научных работ в области геоморфологии, ландшафтоведения, геоинформатики и географической картографии, геоэкологии.

E-mail: zubr3@yandex.ru



Тараканов Анатолий Михайлович родился в 1943 г., окончил в 1965 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией лесоведения и гидроресомелиорации ФГУ СевНИИЛХ. Имеет более 150 научных работ в области изучения природы заболоченных лесов, эффективности гидроресомелиорации, моделирования роста и формирования осушаемых лесов и организации хозяйства в них.

E-mail: forestry@arh.ru



ИЗМЕНЕНИЯ ДРЕВОСТОЕВ В ИЗОЛИРОВАННЫХ ЛЕСНЫХ ОСТРОВАХ ВОСТОКА БОЛЬШЕЗЕМЕЛЬСКОЙ ТУНДРЫ ЗА ПОСЛЕДНИЕ 100 ЛЕТ В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА*

Проведена оценка изменения еловых древостоев в лесных островах Медвежий (Ошдимыльк) и в урочище Пымвашор востока Большеземельской тундры (бассейн р. Адзвы) на основе метода повторных ландшафтных фотографий (снимки 1909 и 2010 гг.). Установлено, что за минувшие 100 лет произошло существенное расширение лесных островов, резкое увеличение густоты и высоты древостоя, формирование сомкнутых лесных сообществ и редколесий на месте редин. Аналогичные процессы были выявлены во многих горных и тундровых регионах Северной Евразии, что связано с современным потеплением климата.

Ключевые слова: лесной остров, ель, Большеземельская тундра, метод ландшафтных фотографий.

В Большеземельской тундре имеется целый ряд изолированных лесных островов в бассейнах рек Море-Ю, Ортина и Адзва. Самые северные лесные острова на северо-востоке Европы расположены в долине р. Море-Ю, характеристика их флоры, почв и структуры лесных экосистем приведена в работах [6, 12, 15, 16]. Есть некоторые данные по растительности и почвам лесного острова в бассейне р. Ортина [11, 24]. Крайне скудна информация по бассейну р. Адзвы, хотя здесь, в урочище Ошдимыльк, расположен крупный Медвежий лесной остров, а также небольшие лесные острова в районе урочищ Пымвашор и Дэршор [3, 17].

Ранее высказывалось мнение о том, что изолированные лесные острова в тундровой зоне могут служить индикаторами изменений климата [24]. Однако долговременные изменения, происходящие в лесных островах Большеземельской тундры, до настоящего времени были не исследованы, хотя имеются многочисленные работы по динамике растительности в зоне контакта леса и тундры на Полярном Урале [2], в Сибири [5, 8–10] и др. регионах.

Целью настоящей работы был анализ изменений еловых древостоев лесных островов за последние 100 лет и сопоставление полученных результатов с опубликованными ранее материалами для других регионов Северной Евразии.

Материал и методика

В основу работы был положен метод повторных ландшафтных (наземных) фотографий, который довольно редко применяется для исследова-

* Исследования выполнены при финансовой поддержке Президента России (МД-4164.2011.5), РФФИ (№10-04-00897), УрО РАН (№12-П-5-1014), ФЦП «Кадры» и программы «Темплан вузов» (№546152011).

ния пространственно-временной динамики древесной растительности из-за плохой сохранности старых снимков и трудности нахождения прежних точек съемки [2]. В Санкт-Петербургском филиале архива РАН нами был обнаружен фотоснимок термального урочища Пымвашор, который сделал Н.А. Кулик, а из фотографической вклейки в монографии С.А. Керцелли [7] был взят снимок Медвежьего лесного острова. Оба снимка датированы 1909 г. Поскольку мы располагали оригинальным негативом снимка Н.А. Кулика, то качество отсканированной копии оказалось сравнительно высоким. Однако полиграфические технологии в губернских издательствах в начале XX в. были достаточно примитивными – копия снимка С.В. Керцелли оказалась не четкой, поэтому была проведена ее компьютерная обработка путем нормализации гистограммы.

В 2009–2011 гг. в рамках Полярной комплексной экспедиции Института экологических проблем Севера УрО РАН и Северного (Арктического) федерального университета им. М.В. Ломоносова были организованы полевые исследования изолированных лесных урочищ Большеземельской тундры, в том числе Пымвашора, Дэршора и Ошдимылька с Медвежьим островом. В 2010 г. были выявлены точки, с которых Н.А. Кулик и С.В. Керцелли проводили съемку в 1909 г., и сделана повторная фотосъемка этих участков. Поиск точки снимка Н.А. Кулика из-за наличия четких ландшафтных ориентиров был несложным. Для проведения повторной съемки участка С.В. Керцелли экспедиция прошла тем же путем, которым он шел от Адзвы к Медвежьему острову, по имеющейся карте [7], далее ориентирами были старая ворга (путь перегона оленьих стад) и участок, имеющий признаки традиционного использования оленеводами в качестве стойбища.

В лесных островках урочищ Пымвашор и Дэршор, а также в Медвеьем лесном острове выполнены геоботанические описания, измерения высоты, диаметра и возраста еловых деревьев по стандартным методикам, для оценки контуров лесных островов дешифрованы космические снимки спутника Landsat 7.

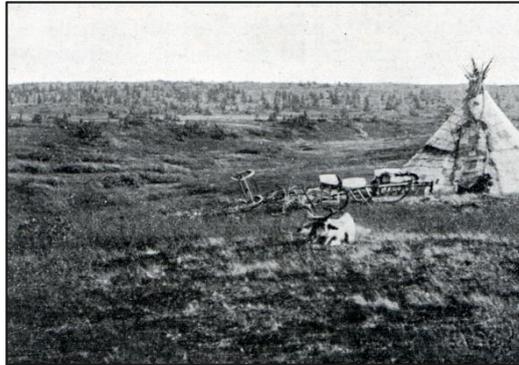
Результаты

В районе Пымвашора насаждения ели (*Picea obovata* Ledeb.) тянутся узкой лентой на всем протяжении лога и примыкающих к нему участков по береговым откосам ручья, формируя редкостойные или низкополотные, относительно низкопродуктивные древостои. В левом борту лога и у его подножия разгружаются единственные на севере Европы термальные источники с температурой воды до 28 °С, которые оказывают существенное влияние на мезоклимат урочища и теплообеспеченность почв, что было подробно описано ранее [17]. Медвежий лесной остров расположен в 5 км южнее урочища Пымвашор и представляет собой довольно компактный еловый массив овальной формы размером 2,5×0,6 км, протянувшийся на пологом склоне вдоль долины р. Адзвы. Расстояние от реки около 2 км. Все произрастающие в лесных островах востока Большеземельской тундры ельники являются абсолютно

разновозрастными и типологически представлены различными вариациями ерниковых еловых сообществ. Ельники лесных островов еще не являются вполне сформировавшимися лесными фитоценозами и представляют собой редколесья и редины, т.е. стадии формирования лесной растительности на месте ерниковых и горных тундр. Оба лесных острова приурочены к гряде Чернышова, сложенной известняками нижнего карбона.

В 1909 г. Медвежий лесной остров представлял собой типичную лесотундровую редину с крайне низкорослым разреженным еловым древостоем (рис. 1). Автор старого фотоснимка (С.В. Керцелли) прокомментировал его следующим образом: «...в Медвежем острове – крайний к северу лесной остров по левому берегу Адзвы – усохших деревьев около 35...50 %, характер его заметен даже на фотографии» [7, с. 29]. За прошедший век произошло расширение границ лесного острова, резко возросли высота и густота древостоя, а также сомкнутость крон, что четко видно на фотоснимке 2010 г. Усохшие деревья сейчас здесь единичны, в густых куртинах под пологом старых елей уже сформировался напочвенный покров, напоминающий крайне северотаежные (притундровые) ельники.

В Пымвашорском логу 100 лет назад произрастало лишь небольшое число одиночных низкорослых елей и как таковой лесной остров здесь отсутствовал (рис. 2). В настоящее время вдоль бортов этой долины сформировались участки еловых редколесий и редин. Кроме того, обширное еловое редколесье произрастает на известняковом плато, обрыв которого формирует левый борт лога (край редколесья виден слева на снимке). В районе обоих лесных островов прослеживается также увеличение высоты кустарниковых пород (ивы, березы карликовая и извилистая). Особенно хорошо это видно при



а



б

Рис. 1. Изменения елового древостоя в Медвежем лесном острове за 100 лет: а – 1909 г. (фото С.В. Керцелли), б – 2010 г. (фото И.Н. Болотова)

сравнении снимков Медвежьего острова, где за прошедшее столетие на месте моховой тундры сформировались густые ерниковые заросли.

Средний возраст еловых древостоев урочищ Пымвашор и Ошдимыльк составляет 50...60 лет, максимальный возраст деревьев редко превышает 110...120 лет. Средняя высота ели – 7...8 м, средний диаметр на высоте груди – 8...10 см, эти показатели редко превышают 14...15 м и 21...23 см соответственно. Общая площадь ельников расширилась за счет заселения елью естественных укрытий. Увеличилась и плотность ее насаждений в сформировавшихся ранее лесных островках. Однако процессы естественного зарастания урочищ елью протекают довольно медленно из-за низкого качества продуцируемых семян [13–15]. При этом выявлено, что часть маленьких одиночных еловых островков в окружающих тундрах деградирует, некоторые из таких куртин полностью погибли и представлены усохшими елями.

Характерная особенность произрастания ели в тундре – плагиотропный тип роста. Формируются довольно густые куртины, которые, впоследствии изреживаясь, образуют небольшие островки леса. По-видимому, именно таким образом и происходит постепенное заселение тундры елью, имеющее, впрочем, вялотекущий характер и закономерно увязанное с уже существующими группами елей. На песчаниковых обнажениях ель часто принимает стланиковую форму, приподнимаясь от поверхности не более чем на 10...15 см.

Обсуждение результатов

Увеличение густоты древостоев в изолированных лесных островках на востоке Большеземельской тундры за последнее столетие согласуется с дан-



a



b

Рис. 2. Изменения елового древостоя в логу термального урочища Пымвашор за 100 лет: *a* – 1909 г. (фото Н.А. Кулика, архив РАН), *b* – 2010 г. (фото И.Н. Болотова)

ными для других регионов Северной Евразии. Методом повторных ландшафтных фотографий было выявлено, что на Полярном Урале в течение последних 45 лет происходило интенсивное расселение древесной и кустарниковой растительности в горные тундры, в результате чего произошло поднятие верхней границы леса и возросла степень облесенности территорий [20]. Значительно увеличилась густота, сомкнутость и продуктивность древостоев. Эти явления связывают с воздействием потепления и увлажнения климата, начавшегося в начале XX в. и продолжающегося до настоящего времени. Сопоставление крупномасштабных геоботанических карт, иллюстрирующих распределение различных типов лесотундровых сообществ Полярного Урала в начале 1910-х и 2000-х гг., показало, что в течение последних 90 лет происходило интенсивное продвижение древесной растительности выше в горы [2].

С использованием подобного метода на Кольском полуострове в некоторых горных долинах выявлена смена тундровой растительности на лесотундровую за 1891–2007 и 1936–2007 гг., прослеживается и подъем верхней границы леса в горах [4]. Автор этой статьи сделал попытку сопоставить наблюдаемые изменения растительности с метеорологическими параметрами, однако значимых закономерностей не установлено. В горах Скандинавии в последние десятилетия на основе мониторинговых наблюдений было обнаружено резкое возрастание численности подроста сосны и его расселение в горную лесотундру, что четко увязано с изменениями климата [22, 23].

Динамику лиственничного лесного острова Ары-Мас в бассейне р. Хатанги (Сибирь) исследовали методом сопоставления разновременных космических снимков в 1965–2000 гг. [8–10] и установили, что за 45 лет произошло увеличение сомкнутости лиственничников и их продвижение в тундру со скоростью 3...10 м/год. Причиной таких изменений авторы считают возрастание температур воздуха и глубины оттаивания почвогрунтов в регионе, причем указано отрицательное влияние количества летних осадков. На Енисейском кряже была выявлена интенсивная экспансия вечнозеленых хвойных деревьев (кедр, пихта, ель) в зону доминирования лиственницы, причем подрост этих пород сформировался преимущественно в последние 20...30 лет, что коррелирует с трендами летних температур и осадков [10]. В горах Западного Саяна за последние 30 лет наблюдается продвижение подроста кедра в зону горной тундры, возрастание апикального и радиального приростов, а также сомкнутости древостоев, трансформация стланиковой формы кедра в стволовую [5]. Указанные изменения коррелируют с летними температурами, майско-июньскими и средними годовыми осадками, при этом повышение температуры на 1 °C способствует продвижению подроста кедра на 150 м по градиенту высоты.

Таким образом, приведенный краткий обзор данных показывает, что расширение лесной растительности в зонах ее экотона с тундрой за последние 100 лет имеет панконтинентальный характер. Это явление наблюдается как в горах, так на равнинах Северной Евразии. Сопоставление фотографий начала XX в. с современными показывает, что на многих ныне облесенных участках

ранее преобладали тундровые экосистемы. Причиной обширного развития тундровой растительности в недавнем прошлом был малый ледниковый период – глобальное похолодание климата (XV-XIV вв. – середина XIX в.) [1, 18]. С конца XIX в. началось современное потепление климата, которое идет нелинейно [21]. Максимальные температуры воздуха отмечены в 1930–50-е гг. и с 1990-х гг. до настоящего времени, а минимумы – в 1960–70-е гг. [18]. Помимо смещения границ лесной растительности, изменение климата приводит к быстрой деградации зоны многолетнемерзлых пород [19, 21].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борзенкова И.И. Изменение климата в кайнозойе. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 247 с.
3. Виноградова В.М. Флора района теплых источников Пымвашор в Большеземельской тундре // Вестн. Ленингр. ун-та. 1962. Сер.: Биол. Вып. 2, № 9. С. 22–34.
4. Демин В.И. Проблема получения длинных температурных рядов для задач климатологии // VII Всеросс. совещание по изучению четвертичного периода. Апатиты, 2001. С. 160–163.
6. Канев В.В. Почвы лесных островков бассейна р. Море-Ю (Большеземельская тундра) // Почвоведение. 2003. № 10. С. 1177–1188.
7. Керцелли С.В. По Большеземельской тундре с кочевниками. Архангельск: Губернская типография, 1911. 116 с.
12. Русанова Г.В. Почвообразование на северном пределе распространения леса в европейской части России // Лесоведение. 2011. № 1. С. 61–68.
11. Русанова Г.В., Денева С.В. Почвы реликтовых островков ели на северо-западе Большеземельской тундры // Лесоведение. 2006. № 2. С. 21–25.
16. Уникальный лесной остров в Большеземельской тундре / Б.А. Семенов [и др.] // Социально-экологические проблемы Европейского Севера: сб. ст. Архангельск: ИЭПС УрО АН СССР, 1991. С. 209–218.
13. Сурсо М.В., Барзут О.С. Особенности роста и развития хвойных в Большеземельской тундре. Ель в урочище Пымвашор // Лесн. вестн. 2010. № 5. С. 42–48.
14. Сурсо М.В., Барзут О.С. Особенности роста и развития хвойных в Большеземельской тундре. Можжевельник в урочище Пымвашор // Лесн. вестн. 2010. № 6. С. 18–21.
15. Толмачев А.И., Токаревских С.А. Исследование района «лесного острова» у р. Море-Ю в Большеземельской тундре // Ботан. журн. 1968. Т. 53, № 4. С. 560–566.
17. Функционирование субарктической гидротермальной экосистемы в зимний период / Под ред. К.Г. Боголицына, И.Н. Болотова. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2011. 252 с.
5. Древесная растительность экотона лесотундры Западного Саяна и климатические тренды / В.И. Харук, М.Л. Двинская, С.Т. Им, К.Д. Рэнсон // Экология. 2008. № 1. С. 10–15.
10. Проникновение вечнозеленых хвойных деревьев в зону доминирования лиственницы и климатические тренды / В.И. Харук, М.Л. Двинская, К.Д. Рэнсон, С.Т. Им // Экология. 2005. № 3. С. 186–192.
8. Космоснимки высокого разрешения в анализе временной динамики экотона лесотундры / В.И. Харук, С.Т. Им, К.Д. Рэнсон, Г. Сан // Исследования Земли из космоса. 2005. № 6. С. 46–55.

9. Лиственничники лесотундры и климатические тренды / В.И. Харук, К.Д. Рэнсон, С.Т. Им, М.М. Наурзбаев // Экология. 2006. № 5. С. 323–331.

18. Шварцман Ю.Г., Болотов И.Н. Пространственно-временная неоднородность таежного биома в области плейстоценовых материковых оледенений. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2008. 263 с.

19. Шварцман Ю.Г., Болотов И.Н., Игловский С.А. Изменения климата и их влияние на окружающую природную среду Европейского Севера России // Изменение окружающей среды и климата. Природные и связанные с ними техногенные катастрофы. Т. VI. Изменения климата: влияние внеземных и земных факторов. М.: ИФА РАН, 2008. С. 80–98.

20. Шиятов С.Г. Динамика древесной и кустарниковой растительности в горах Полярного Урала под влиянием современных изменений климата. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. 216 с.

2. Вертикальный и горизонтальный сдвиги верхней границы редколесий и сомкнутых лесов в XX столетии на Полярном Урале / С.Г. Шиятов, М.М. Терентьев, В.В. Фомин, Н.Е. Циммерман // Экология. 2007. № 4. С. 243–248.

22. Kullman L. Rapid recent range-margin rise of tree and shrub species in the Swedish Scandes // J. of Ecology. 2002. Vol. 90. P. 68–77.

23. Kullman L. Tree line population monitoring of *Pinus sylvestris* in the Swedish Scandes, 1973–2005: implications for tree line theory and climate change ecology // J. of Ecology. 2007. Vol. 95. P. 41–52.

24. Lavrinenko I.A., Lavrinenko O.V. Relict spruce forest "islands" in the Bolshezemelskaya tundra – control sites for long-term climatic monitoring // Chemosphere: Global Change Science. 1999. N 1. P. 389–402.

21. Climate variation and dynamic ecosystems of the Archangelsk region / Y. Shvartsman, V. Barzut, S. Vidyakina, S. Iglovsky // Chemosphere: Global Change Science. 1999. N 1. P. 417–428.

Поступила 25.05.10

I.N. Bolotov¹, M.V. Surso¹, B.Yu. Filippov², M.Yu. Gofarov¹, A.M. Tarakanov³

¹Institute of Ecological Problems of the North, Ural Branch of RAS

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

³Federal State Institution "The Northern Research Institute of Forestry"

Changes in Tree Stands on Isolated Forest Islands in the East of Bolshezemelskaya Tundra for the Last 100 Years in a Changing Climate

Changes in spruce stands on Medvezhy (Oshdimylk) and Pymvashor forest islands in the east of Bolshezemelskaya tundra (Adzva River basin) have been studied by means of repeated landscape photographs method (pictures dated 1909 and 2010). Last century saw an expansion of forest islands, rapid increase in density and height of stands as well as formation of closed forest communities and sparse forests in place of open tree stands. Similar processes have been identified in a number of mountain and tundra regions of Northern Eurasia, which is related to the present climate warming.

Key words: island forest, spruce, Bolshezemelskaya tundra, landscape photographs method

УДК 630* 161.1

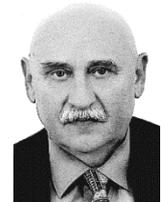
В.Г. Гусев¹, В.К. Дубовый¹, Е.Л. Лопухова¹, В.А. Ирицян²

¹Санкт-Петербургский НИИ лесного хозяйства

²ОАО СПП «Выборгское»

Гусев Виталий Георгиевич родился в 1947 г., окончил в 1971 г. Ленинградский политехнический университет, доктор сельскохозяйственных наук, кандидат технических наук, заведующий лабораторией охраны леса от пожаров ФБУ СПбНИИЛХ. Имеет более 100 печатных работ в области лесной пирологии и охраны лесов от пожаров.

E-mail: gusev.v.g@mail.ru



Дубовый Владимир Климентьевич родился в 1967 г., окончил в 1991 г. С.-Петербургскую государственную лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор, научный сотрудник лаборатории лесоводства ФБУ СПбНИИЛХ. Имеет более 100 печатных работ в области химической технологии древесины и лесного хозяйства.

E-mail: Dubovy2004@mail.ru



Лопухова Елизавета Леонидовна окончила в 2001 г. С.-Петербургскую государственную лесотехническую академию, младший научный сотрудник лаборатории охраны леса от пожаров ФБУ СПбНИИЛХ. Имеет около 10 печатных работ в области лесоведения, лесоводства и охраны лесов от пожаров.

E-mail: Luiz-L@yandex.ru



Ирицян Владимир Акопович родился в 1957 г., окончил в 1979 г. С.-Петербургскую государственную лесотехническую академию, кандидат сельскохозяйственных наук, чл.-кор. Международной академии наук экологии, безопасности человека и природы, генеральный директор ОАО СПП «Выборгское». Имеет около 10 печатных работ в области лесной пирологии и охраны лесов от пожаров.

E-mail: Iritsian@inbox.ru



МЕТОД ОЦЕНКИ МИНИМАЛЬНОГО РАССТОЯНИЯ ОТ ОПОРНОЙ ПОЛОСЫ ДО КРОМКИ ПОЖАРА ПРИ ПУСКЕ ОТЖИГА

На основе исследований природы лесных пожаров и математического моделирования их распространения предложен новый метод оценки минимального расстояния от опорной полосы до кромки пожара при пуске отжига. Метод позволяет оценивать возможность остановки кромки лесного пожара с помощью отжига и определять ширину выжженной полосы.

Ключевые слова: лесной пожар, низовой пожар, верховой пожар, остановка фронта пожара, пуск отжига, опорная полоса.

© Гусев В.Г., Дубовый В.К., Лопухова Е.Л., Ирицян В.А., 2012

Тушение лесных пожаров с помощью отжига применяется в российских лесах давно и зарекомендовало себя как очень эффективное средство. В настоящее время в нормативных правовых документах, регламентирующих действия лесопожарных служб, отсутствует объективный расчетный метод оценки минимального расстояния от опорной полосы до кромки пожара при пуске отжига. Отжиг представляет собой заблаговременный пуск огня по напочвенному покрову от опорной полосы навстречу кромке низового или верхового пожара в целях создания на его пути достаточно широкой выжженной полосы.

При сильном ветре возможен перенос горящих растительных частиц от фронта низового пожара на расстояние 15...20 м, при верховом пожаре – на сотни метров. Поэтому, если на пути фронтальной кромки нет достаточно широкой преграды, а быстрое создание ее невозможно или требует большого количества сил и средств, то для остановки пожара применяют отжиг (встречный огонь). При этом самое важное на каком минимальном расстоянии от опорной полосы до кромки пожара пуск отжига обеспечит остановку огня.

Практика борьбы с лесными низовыми пожарами показывает, что для остановки слабого низового пожара ширина выжженной полосы должна быть не менее 5 м, а для среднего и сильного – соответственно не менее 15 и 20 м.

Для оценочных расчетов скорости фронта низового пожара можно воспользоваться упрощенной математической моделью, полученной методом наименьших квадратов аппроксимацией результатов расчетов по модифицированной модели Ротермела [3, 4, 10]. В этой модели скорость фронта низового пожара для равнинной местности аппроксимирована экспонентой, зависящей от двух наиболее значимых параметров: скорости ветра под пологом леса и влагосодержания напочвенного покрова:

$$V = \exp(a_1 + a_2U + a_3M + a_4U^2 + a_5M^2 + a_6UM), \quad (1)$$

где V – скорость фронта низового пожара, м/мин;

a_1, a_2, \dots, a_6 – коэффициенты, постоянные для данного вида напочвенного покрова (табл. 1);

U – скорость ветра под пологом древостоя на высоте 2 м, м/с;

M – влагосодержание проводников горения в напочвенном покрове, кг / кг.

Таблица 1

Постоянный коэффициент	Значения постоянного коэффициента для основных проводников горения		
	Лишайники, опад	Зеленые мхи	Отмершая трава
a_1	-0,3939	-0,2519	0,5891
a_2	1,046	1,284	1,398
a_3	-2,658	-2,658	-6,215
a_4	-0,06164	-0,09284	-0,15800
a_5	-4,795	-4,795	5,735
a_6	-0,03500	-0,04444	0,01023

Коэффициенты, приведенные для лишайника, можно использовать при прогнозе скорости фронта низового пожара в сосняках лишайниковых, лишайниково-вересковых, лишайниково-мшистых и рыхлоопадных. При этом влагосодержание напочвенного покрова может изменяться в пределах от 0,09 до 0,41 кг/кг [1].

Коэффициенты, соответствующие зеленому мху, рекомендуются для сосняков брусничных, чернично-брусничных, черничных, багульниковых осушенных и для ельников черничных. В этом случае влагосодержание находится в пределах от 0,10 до 0,43 кг/кг.

Коэффициенты для отмершей травы используются при прогнозных оценках в древостоях и на вырубках в сосняках, ельниках, березняках и осинниках с травяным напочвенным покровом для весеннего или осеннего периодов. При этом влагосодержание может изменяться в диапазоне от 0,09 до 0,40 кг/кг.

Для оценки среднего значения влагосодержания некоторых видов напочвенных покровов по комплексному показателю В.Г. Нестерова в работе [5] предложена гиперболическая функция следующего вида:

$$m = a/\Gamma + v, \quad (2)$$

где m – влагосодержание напочвенного покрова;

a, v – эмпирические коэффициенты;

Γ – комплексный метеорологический показатель.

Значения эмпирических коэффициентов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Эмпирический коэффициент	Значения эмпирического коэффициента для основных напочвенных проводников горения		
	Лишайники	Зеленые мхи	Опад хвои, отмершая трава
a	270,68	636,21	174,76
v	0,07	0,08	0,06

Для более точной оценки используют показатель влажности лесного напочвенного покрова ПВ-1 [6, 7], по которому можно прогнозировать влагосодержание основного проводника горения (ОПГ) в напочвенном покрове. Зависимость влагосодержания ОПГ в слое лесного напочвенного покрова от показателя ПВ-1 по данным [7] представлена в табл. 3.

Скорость ветра под пологом древостоя U рекомендуется оценивать по формулам [2, 8]:

$$U_2 = U_1 \lg (z_2/z_1) / \lg (z_1/z_{01}); \quad (3)$$

$$z_3 = H + 6; \quad (4)$$

$$z_{03} = 0,13 H; \quad (5)$$

$$U_3 = U_2 \lg (z_3/z_{03}) / \lg (z_2/z_{03}); \quad (6)$$

$$U_4 = \frac{0,31U_3}{\sqrt{fH} \ln \frac{20+1,18H}{0,43H}}; \quad (7)$$

$$U = K_2 U_4, \quad (8)$$

Таблица 3

Показатель ПВ-1	Влажность, кг воды / кг сырого вещества, для основных напочвенных проводников горения					
	Лишайники, отмершая трава		Зеленые мхи на почвах			
			дренированных		слабо дренированных суглинистых	
	Верх слоя	Весь слой	Верх слоя	Весь слой	Верх слоя	Весь слой
200	0,41	–	–	–	–	–
300	0,28	–	–	–	–	–
400	0,20	0,43	–	–	–	–
500	0,18	0,29	–	–	–	–
600	0,16	0,24	0,43	–	–	–
700	0,16	0,20	0,33	–	–	–
800	0,15	0,18	0,27	–	–	–
900	0,14	0,16	0,24	–	–	–
1000	0,14	0,16	0,22	0,43	–	–
1100	0,14	0,16	0,21	0,35	0,37	–
1200	0,13	0,15	0,20	0,32	0,32	0,43
1300	0,12	0,15	0,19	0,29	0,27	0,41
1400	0,12	0,14	0,18	0,27	0,25	0,39
1500	0,12	0,14	0,18	0,26	0,23	0,37
1600	0,12	0,13	0,17	0,25	0,21	0,35
1700	0,11	0,13	0,16	0,23	0,20	0,33
1800	0,11	0,13	0,15	0,23	0,20	0,32
1900	0,11	0,12	0,15	0,22	0,19	0,31
2000	0,10	0,12	0,14	0,20	0,19	0,28
2100	0,10	0,12	0,13	0,20	0,18	0,27
2200	0,10	0,11	0,12	0,19	0,18	0,26
2300	0,10	0,11	0,12	0,18	0,18	0,25
2400	0,10	0,11	0,11	0,17	0,18	0,24
2500	0,10	0,11	0,10	0,16	0,18	0,23
2600	0,09	0,11	0,10	0,15	0,17	0,22

где U_2 – скорость геострофического ветра на высоте $z_2 = 1000$ м, м/с;

U_1 – скорость ветра на открытом месте, измеренная на стандартной высоте $z_1 = 10$ м, м/с;

z_{01} – шероховатость подстилающей поверхности на метеостанции (для травы высотой 2...30 см $z_{01} = 0,01$ м), м;

z_3 – критическая высота, начиная с которой скорость ветра подчиняется логарифмическому закону, м;

H – высота древостоя, м;

z_{03} – шероховатость лесного массива, м;

U_3 – скорость ветра над пологом древостоя на высоте z_3 , м/с;

U_4 – скорость ветра в пологе древостоя, м/с;

f – доля объема вещества крон в единице объема полога (табл. 4);

K_2 – эмпирический коэффициент, $K_2 = 1,1$.

Таблица 4

Насаждения	Доля объема вещества крон в единице объема полога насаждений			
	теневыносливых		светолюбивых	
	Молодые и средневозрастные	Спелые и перестойные	Молодые и средневозрастные	Спелые и перестойные
Высокополнотные	0,32	0,24	0,16	0,08
Средне- и низкополнотные	0,09	0,07	0,07	0,05

Если необходимо оценить интенсивность не фронтальной кромки, а кромки, распространяющейся в каком-либо другом направлении, то используют радиальную скорость (V_r , м/мин), которую определяют с помощью эмпирической формулы:

$$V_r = V \exp [A (\cos^2 \alpha / 2 - 1)], \quad (9)$$

где A – эмпирический коэффициент, учитывающий изменение формы очага горения в зависимости от скорости ветра,

$$A = \begin{cases} 0,113 + 0,376 U & \text{при } U \leq 11 \text{ м/с;} \\ 1,125 + 0,284 U & \text{при } 11 \text{ м/с} < U < 16 \text{ м/с;} \end{cases} \quad (10)$$

α – угол между рассматриваемым направлением распространения кромки пожара и направлением ветра.

Скорость фланговой кромки ($V_{\text{фл}}$, м/мин) низового пожара находят по формуле (9) при $\alpha = \pi/2$, т. е.

$$V_{\text{фл}} = V \exp (-0,5 A), \quad (11)$$

скорость тыловой кромки (V_t , м/мин) определяют аналогично из (8) при $\alpha = \pi$:

$$V_t = V \exp (-A). \quad (12)$$

Скорость низового пожара при отжиге, пущенного навстречу фронту, будет равна V_t . Надежная остановка огня достигается, когда ширина выжженной полосы перед фронтом слабого низового пожара составит 5 м, перед фронтом низового пожара средней силы – 15 м, перед фронтом сильного низового пожара – 20 м.

Время (t_1 , мин), необходимое для отжига полос указанной ширины, соответственно

$$t_1 = 5 \text{ м} / V_t; \quad t_2 = 15 \text{ м} / V_t; \quad t_3 = 20 \text{ м} / V_t.$$

Тогда минимальное расстояние (L , м) от опорной полосы до фронтальной кромки низового пожара при пуске отжиге соответственно для слабого, среднего и сильного пожаров:

$$L_1 = (V + V_t) t_1; \quad L_2 = (V + V_t) t_2; \quad L_3 = (V + V_t) t_3. \quad (13)$$

Для оценки максимальной скорости распространения устойчивого (повального) верхового пожара можно использовать график ее зависимости от индекса распространения пожара ISI (по национальной системе Канады)

по оценке и прогнозированию показателей пожарной опасности в лесу. Этот индекс определяют по формулам из [9]:

$$ISI = 0,208f(U)f(m), \quad (14)$$

где $f(U)$ – функция ветра, определяемая равенством

$$f(U) = e^{0,05039U}; \quad (15)$$

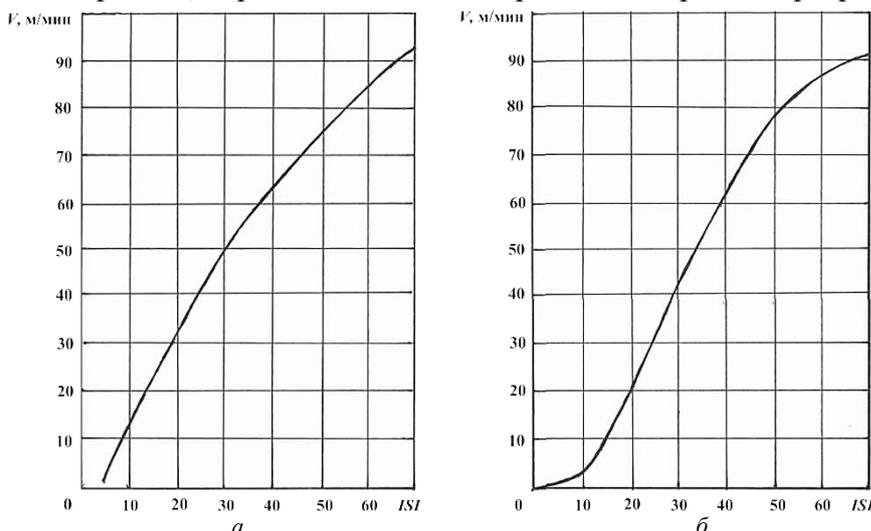
$f(m)$ – функция влажности верхнего слоя напочвенного покрова, определяемая по формуле

$$f(m) = 91,9 e^{-0,1386m} [1 + m^{5,31} / (4,93 \cdot 10^7)]. \quad (16)$$

Скорость фронта верхового пожара в зависимости от индекса ISI и высоты древостоя может быть оценена с помощью графиков (см. рисунок) [11].

Для оценки скорости продвижения тыловой кромки можно использовать формулу (12).

Расчеты с помощью математических моделей и результаты наблюдений за верховыми пожарами показывают, что при сильном ветре отдельные горящие (тлеющие) частицы, отрывающиеся восходящими потоками газов в зоне пожара, могут подниматься конвекционными потоками и переноситься ветром на расстояние до 330...350 м (при отсутствии крупномасштабных вихрей). При этом массовый перенос горящих растительных частиц обычно не превышает одной трети максимального расстояния переноса, т. е. не более 110...120 м. Подавляющая часть горящих частиц выпадает в пределах 2/3 максимального расстояния переноса, т.е. на расстоянии до 220 м от кромки верхового пожара. На последней трети максимального расстояния переноса могут выпадать только единичные частицы, которые должны быть потушены лесными пожарными, охраняющими лес за противопожарным барьером.



Зависимость скорости лесного пожара от ISI в сосняках с высотой древостоя до 10 (а) и более 10 м (б)

Таким образом, ширину выжженной полосы перед фронтом верхового пожара целесообразно сделать не менее 220 м. Это расстояние кромка отжига пройдет за время $t_b = 220/V_T$ мин.

Таким образом, при пуске отжига для остановки фронта верхового пожара минимальное расстояние от него до опорной полосы (L_b , м) составит

$$L_b = (V + V_T) t_b. \quad (17)$$

Необходимо отметить, что при оценочных расчетах не учитывались способы ускорения огня отжига (гребенка, пятнистое поджигание, опережающий огонь, ступенчатый отжиг), которые применяют при не очень сильном ветре, наличии широкой опорной полосы или нескольких опорных полос. Эти способы позволяют сократить минимальные расстояния, рассчитанные предложенным методом.

Разработанный метод оценки минимального расстояния от опорной полосы до кромки пожара при пуске отжига можно использовать в сосновых лесах всех регионов бореальной зоны России для равнинной местности. Экспериментальную проверку метод прошел в сосняках Лужского и Приозерского районов Ленинградской области. Погрешность метода не превышала 15 %.

Представленные здесь научные результаты имеют большое практическое значение при борьбе с крупными лесными пожарами и защите от огня людей, населенных пунктов и объектов инфраструктуры, т. е. в тех случаях, когда отжиг является единственным эффективным средством борьбы с огнем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусев В.Г., Лопухова Е.Л., Дубовый В.К. Классификация и общие свойства лесных горючих материалов // Лесн. журн. 2012. № 1/325. С. 134–145. (Изв. высш. учеб. заведений).
2. Гусев В.Г., Корчунова И.Ю. О методе расчета скорости распространения лесного низового пожара // Лесные пожары и борьба с ними: сб. науч. тр. Л.: ЛенНИИЛХ, 1985. С. 31–50.
3. Гусев В.Г. Упрощенная методика расчета скорости распространения лесного низового пожара // Тр. СПбНИИЛХ. СПб., 2001. Вып. 4(8). С. 208–217.
4. Гусев В.Г. Физико-математические модели распространения пожаров и противопожарные барьеры в сосновых лесах. СПб.: Хромис, 2005. 199 с.
5. Нестеров В.Г., Гриценко М.В., Шабунина Т.А. Использование температуры точки росы при расчете показателя горимости леса // Метеорология и гидрология. 1968. № 9. С. 102–104.
6. Определение природной пожарной опасности в лесу (методические рекомендации) / С.М. Вонский, В.А. Жданко, В.И. Корбут [и др.]. Л.: ЛенНИИЛХ, 1975. 38 с.
7. Определение природной пожарной опасности в лесу: метод. рек. / С.М. Вонский [и др.]. Л.: ЛенНИИЛХ, 1981. 52 с.
8. Albini F.A., Vaughman R.G. Estimating wind speeds for predicting wildland fire behavior // USDA Forest Service Research Paper INT-221. Ogden, Utah, 1979. 89 p.
9. Development and structure of the canadian forest fire behavior prediction system / M.E. Alexander, B.D. Lawson, B.J. Stocks, C.E. Van Wagner. Science and sustainable development directorate. Inf. Rep. ST-X. Ottawa, 1992. 62 p.

10. *Rothermel R.C.* A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels: USDA Forest service research paper INT-115. Ogden, Utah, 1972. 40 p.

11. *Van Wagner C.E.* Development and structure of the canadian forest fire weather index system. Forestry technical report 35. Canada, Ottawa, 1987. 37 p.

Поступила 20.10.11

V.G. Gusev¹, V.K. Dubovy¹, E.L. Lopukhova¹, V.A. Iritsyan²

¹Saint-Petersburg Forestry Research Institute

²JSC Park and Garden Enterprise "Vyborgskoye"

Method of Estimating Minimum Distance from the Base Strip to the Fire Edge During Controlled Burning Start

On the basis of research into the nature of forest fires and mathematical modeling of their spread, a new method of estimating minimum distance from the base strip to the fire edge during controlled burning start is suggested. The method allows us to evaluate the possibility of stopping the edge of a forest fire with the help of controlled burning and assess the width of the burnt strip.

Key words: forest fire, surface fire, crown fire, firefront stop, controlled burning start, base strip.

УДК 630*221+630*182

**Д.Н. Торбик², П.А. Феклистов¹, А.М. Тараканов², Б.А. Мочалов¹,
С.В. Третьяков¹**

¹Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова
²ФГУ «Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства»

Торбик Дарья Николаевна окончила в 2004 г. Поморский государственный университет имени М.В. Ломоносова, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник СевНИИЛХ. Имеет около 20 печатных работ в области влияния рубок ухода на фито-климат и формирование насаждений.
E-mail: dn.torbik@mail.ru



Феклистов Павел Александрович родился в 1950 г., окончил в 1972 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой экологии и защиты леса Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет более 200 печатных работ в области лесоведения и лесной экологии.
E-mail: feklistov@narfu.ru



Мочалов Борис Александрович родился в 1942 г., окончил в 1964 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесоводства и почвоведения Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет более 100 печатных работ в области производства посадочного материала, лесных культур и экологии.
Тел.: 8(8182) 21 61 74



Третьяков Сергей Васильевич родился в 1950 г., окончил в 1978 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой лесной таксации и лесоустройства Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет около 100 печатных работ в области смешанных сосновых древостоев Европейского Севера России, лесопользования и лесной сертификации.
Тел.: 8(8182) 21 61 73



ЭКОТОННЫЙ ЭФФЕКТ В ЛЕСНЫХ СООБЩЕСТВАХ, ПРОЙДЕННЫХ КОРИДОРНЫМИ РУБКАМИ УХОДА

Рассмотрены особенности фитоклимата лесных биогеоценозов, формирующихся после коридорных рубок ухода. Дана оценка изменений экологических факторов по мере удаления от волоков в глубь пасеки. Выделена ширина экотонной зоны для каждого экологического фактора. Изучена видовая насыщенность травяно-кустарничкового яруса в зоне перехода из одного сообщества в другое.

Ключевые слова: рубки ухода, волок, пасека, экотонная зона, экологические факторы, видовое богатство.

Наиболее распространенные в настоящее время виды рубок ухода (проходные, обновления, ландшафтные и др.) проводят коридорным способом. В результате остаются лесные массивы, изрезанные волоками (коридорами) через каждые 30...40 м, между ними находятся пасеки, в которых проводились рубки. Коридоры в данном случае можно рассматривать не только как пути транспортировки вырубленной древесины, но и как новое сообщество, отдельный биогеоценоз, резко отличающийся по своим качественным и количественным характеристикам от лесного биогеоценоза [8, 10]. В тех местах, где соприкасаются границы двух хорошо отличающихся местообитаний или сообществ (в данном случае пасеки и волока), образуется экотон или экотонная (переходная) зона. Данное понятие широко известно в классической экологии и описано многими авторами [4, 5, 6]. Этот экотон будет существенно отличаться по условиям среды от обоих граничащих сообществ.

Цель нашей работы заключалась в определении размеров экотонных зон для различных экологических факторов на пасеках, так как очевидно, что различная внутренняя среда под пологом древостоя неизбежно скажется и на росте оставшихся деревьев, и на возобновлении, и на развитии напочвенного покрова и т.п. В границах нашего исследования за экотонную зону принята часть пасеки с наиболее выраженными отличиями по микроклиматическим показателям по сравнению с центральной частью полупасеки, т.е. участка пасеки между двумя волоками.

Исследования были проведены 2007–09 гг. на территории района Архангельского лесничества (Приморский р-н Архангельской области) в среднеполнотных низкобонитетных разновозрастных (VII-VIII класс возраста) ельниках черничных и в средне- и высокополнотных IV класса бонитета (VI класс возраста) сосняках черничных. В каждом из исследованных насаждений рубки проводили однократно: в ельниках – в 1973 г. и 2002 г., в сосняках – в 1991 г., 1994 г., 1995 г.; ширина технологических коридоров (волоков) 4 м, пасек 40 м. Лесоводственно-таксационная характеристика древостоев представлена в таблице.

На каждом объекте по трансектам, расположенным перпендикулярно волокам, закладывали постоянные точки, на которых систематически делали необходимые замеры метеоданных согласно методическим рекомендациям В.Г. Чертовского [9], Н.Р. Сунгуровой и Н.А. Бабича [7]. Контролем служили точки наблюдения, расположенные в центральных частях полупасек. Это позволило проследить изменение метеофакторов на пасеках в зависимости от расстояния от границы «пасека–волок» и выявить ширину экотонных зон для каждого экологического фактора. В качестве показателей, характеризующих экологические условия и средообразующие свойства леса, выбраны освещенность, температура и влажность воздуха, температура почвы. В течение вегетационного периода серию замеров температуры и влажности воздуха, температуры почвы проводили в дневное время через каждые 2 недели при помощи метеостанции WS 3600 и почвенных термометров. Освещенность замеряли эпизодически в условиях безветренной погоды в дневные часы на высоте 1,3 м люксметром Ю-16.

Год рубок	Тип леса	Состав древостоя	Порода	Средний диаметр, см	Средняя высота, м	Сумма площадей сечений, м ² /га	Полнота относительная	Класс бонитета	Класс возраста	Запас, м ³ /га
1994 г.	С. чер.	8С1Ос1Б+Е	С	18,0	17,8	26,2	0,78	IV	VI	229
			Е	8,8	9,5	1,8	0,09	-	-	9
			Б	11,8	18,3	2,5	0,09	-	-	22
1995 г.	С. чер.	9С1Б, ед. Е, Ос	Ос	23,9	21,3	3,7	0,29	-	-	38
			С	16,7	17,9	26,6	0,79	IV	VI	232
			Е	8,3	7,7	0,8	0,05	-	-	3
1991 г.	С. чер.	7С2Б1Ос, ед. Е	Б	11,4	15,6	1,8	0,08	-	-	14
			Ос	15,2	16,7	0,9	0,03	-	-	8
			С	19,2	18,6	24,0	0,70	IV	VI	213
2002 г.	Е. чер.	7Е2С1Б	Е	14,4	14,4	0,5	0,02	-	-	4
			Б	14,3	18,6	6,9	0,26	-	-	64
			Ос	12,9	17,4	1,9	0,06	-	-	19
1973 г.	Е. чер.	7Е2С1Б	Е	15,0	14,7	20,0	0,71	V	VII	145
			С	25,5	18,2	3,9	0,12	-	-	35
			Б	14,0	14,9	2,0	0,08	-	-	15
	Е. чер.	7Е2С1Б	Е	16,8	16,2	18,4	0,61	V	VIII	145
			С	24,2	18,3	4,0	0,12	-	-	29
			Б	15,4	15,3	2,0	0,08	-	-	14

Примечание. Направление волоков – восток-запад, в 1994 г. – север-юг.

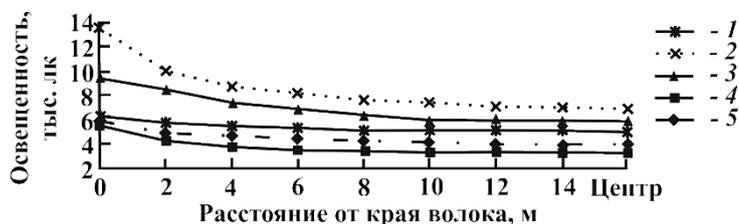
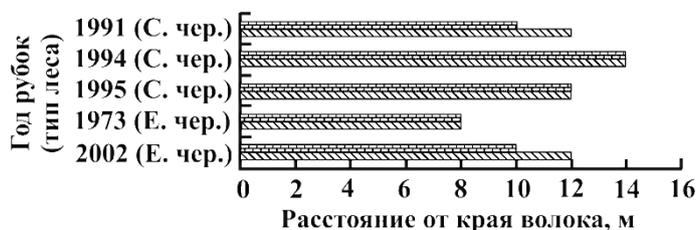


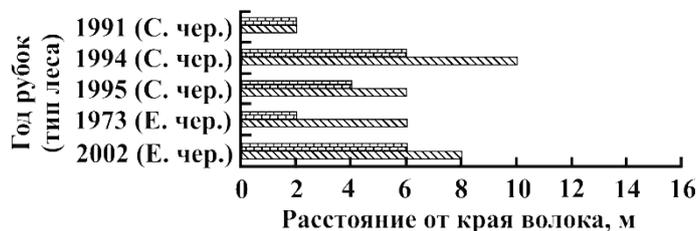
Рис. 1. Изменение освещенности на пасеках по мере удаления от центра волока: 1 – 3 – С. чер., 4, 5 – Е. чер.; 1 – рубка 1991 г., 2 – 1994 г.; 3 – 1995 г.; 4 – 1973 г.; 5 – 2002 г.

Результаты исследований показывают, что ширина экотонных зон по освещенности в рассмотренных нами насаждениях после рубок ухода с направлением волоков восток-запад составляет от 6 (сосняки 1991 г. рубок) до 8...10 м (ельники черничные 1973 г. и 2002 г. рубок) (рис. 1). В сосняках черничных с направлением прорубленных волоков север-юг ширина участков пасеки с наибольшей освещенностью – 12 м.

Вследствие увеличения после рубок ухода освещенности насаждений, особенно на участках, расположенных вблизи волоков, изменяется температурный режим воздуха и почвы. По мере удаления от волоков температура воздуха и почвы уменьшается. Ширина участков пасек с повышенной температурой воздуха в ельниках – 8...12 м, в сосняках – 10...14 м, причем с увеличением давности рубки ширина экотонных зоны уменьшается во всех исследуемых типах леса (рис. 2, а).



а



б

Рис. 2. Ширина экотонных зон по температуре воздуха (а) и влажности (б) на пасеках после рубок ухода на высоте 0,15 (□) и 1,3 м (▣)

На большинстве изученных участков влияние волоков на температуру воздуха на высоте груди (1,3 м) и на уровне напочвенного покрова (0,15 м) проявляется одинаково. Однако в сосняках, пройденных рубками в 1991 г., и в ельниках с относительно свежими рубками 2002 г. ширина экотонных зон для температуры воздуха на высоте груди на 2 м больше, чем на уровне напочвенного покрова.

Ширина зон наибольшего прогревания почвы на пасаках в насаждениях с направлением волоков восток-запад как в сосняках, так и в ельниках не превышает 4...8 м. Почва в сосняках, пройденных рубками в направлении север-юг, сильнее прогревается на расстоянии до 12 м от волока.

Наиболее существенные изменения влажности воздуха в изученных нами насаждениях наблюдаются на расстоянии до 10 м в сосняках и до 8 м в ельниках черничных (рис. 2, б). На этих участках пасаек влажность воздуха несколько ниже, чем в центральных частях полупасаек.

Интересно отметить, что проявление экотонного эффекта по влажности воздуха на различных высотах несколько отличается. Так, ширина экотонных зон по влажности на уровне напочвенного покрова почти всегда на 2...4 м меньше ширины зон с пониженными значениями влажности на высоте 1,3 м.

Согласно Б.М. Миркину и Г.С. Розенбергу [3], экотонный эффект проявляется и в видовой насыщенности в зоне перехода одного сообщества в другое. Наши исследования показывают, что наиболее выражено увеличение видового богатства травяно-кустарничкового яруса на расстоянии до 6 м в ельниках черничных, где количество видов на 5-6 шт. больше видового богатства центральных частей полупасаек. В сосняках черничных увеличение количества видов трав и кустарничков прослеживается на расстоянии до 8...12 м в глубь пасаки, в центральных частях полупасаек видовое богатство меньше на 2-3 вида. Увеличение видовой насыщенности напочвенного покрова на близлежащих к волокам участках пасаек чаще всего происходит за счет развития как растений ювенильной и имматурной стадий развития, которые имелись под пологом древостоя [1], так и резерва семян в почве [2].

Таким образом, в насаждениях, пройденных рубками ухода коридорным способом, на пасаках вблизи волоков создаются экотонные зоны, ширина которых составляет в среднем 6...8 м в ельниках черничных и 8...10 м в сосняках черничных. Проявление экотонного эффекта на этих участках заключается в наиболее заметном изменении всех микроклиматических показателей, а также в повышении видового богатства травяно-кустарничкового яруса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Астрологова Л.Е.* Типы вырубок и лесовозобновление древесных пород. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2002. 96 с.
2. *Карпов В.Г.* Экспериментальная фитоценология темнохвойной тайги. Л., 1969. 331 с.

3. Миркин Б.М., Розенберг Г.С. Толковый словарь современной фитоценологии. М.: Наука, 1983. 184 с.
4. Одум Ю. Основы экологии. М.: Мир, 1975. 744 с.
5. Радкевич В.А. Экология. Минск: Высш. шк., 1998. 159 с.
6. Рифлекс Р. Основы общей экологии. М.: Мир, 1979. 424 с.
7. Сунгурова Н.Р., Бабич Н.А. Метеорологические методы в лесном мониторинге. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2005. 57 с.
8. Феклистов П.А., Торбик Д.Н. Изменение экологических факторов в связи с рубками ухода в северной подзоне тайги: моногр. Архангельск: Изд-во САФУ, 2011. 213 с.
9. Чертовской В.Г., Семенов В.А., Шамин А.А. Практическое пособие по исследованию притундровых лесов. Архангельск: Арханг. ин-т леса и лесохимии, 1977. 35 с.
10. Чибисов Г.А., Нефедова А.И. Экологическая эффективность рубок ухода за лесом // Лесн. журн. 2003. № 5. С. 11–16. (Изв. высш. учеб. заведений).

Поступила 20.10.11

D.N. Torbik², P.A. Feklistov¹, A.M. Tarakanov², B.A. Mochalov¹, S.V. Tretyakov¹

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

²Federal State Institution “The Northern Research Institute of Forestry”

Ecotone Effect in Forest Communities after Corridor Thinning

The article considers peculiarities of phytoclimate of forest biogeocenoses which form after corridor thinning. Changes in environmental factors when moving away from the trails deeper into the swath have been evaluated. For each environmental factor the width of the ecotone zone has been determined. The species richness of plants in the zone of transition from one community to another has been studied.

Key words: thinning, trail, swath, ecotone zone, environmental factors, species richness.

УДК 630*651.75

А.Ю. Захаров, Е.Н. Наквасина

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

Захаров Андрей Юрьевич родился в 1987 г., окончил в 2009 г. Архангельский государственный технический университет, младший научный сотрудник лаборатории таежных экосистем и биоразнообразия СевНИИЛХ, аспирант кафедры лесоводства и почвоведения Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет 5 печатных работ в области рубок ухода, лесоводственной эффективности, естественного лесовосстановления.
E-mail: AndreyZaharov29@yandex.ru



РЕЗУЛЬТАТЫ ТРЕХПРИЕМНЫХ РУБОК УХОДА В СМЕШАННЫХ СОСНЯКАХ СО ВТОРЫМ ЯРУСОМ ЕЛИ*

Проведен анализ трех приемов рубок ухода в смешанных сосняках со вторым ярусом ели. Определена лесоводственная эффективность уходов по сосново-березовому и еловому ярусам. Даны рекомендации по проведению рубок ухода в смешанных насаждениях.

Ключевые слова: рубки ухода, смешанные сосняки, сосново-березовый ярус, еловый ярус, лесоводственная эффективность.

Возрастающее социально-экологическое значение лесов способствует тому, что рубки ухода приобретают особенно важную роль в замкнутом цикле «лесовосстановление – лесовыращивание – лесопользование – лесовосстановление». Однако подходы к их проведению должны быть разными в зависимости от состава и структуры древостоев.

В лесном фонде Европейского Севера значительное место занимают производные смешанные сосняки, различающиеся по происхождению (сплошные рубки, лесные пожары) и доле участия сосны в составе (сосново-лиственные, лиственно-сосновые). Эти насаждения, имеющие в составе сосну, березу, осину, ель, являются наиболее продуктивной формацией [1, 3, 9]. По данным И.С. Мелехова, М.В. Колпикова, В.К. Захарова и др., именно создание смешанных насаждений при правильном подборе пород является одним из путей повышения продуктивности лесов [2]. В эту группу лесообразования входят смешанные сосняки со вторым ярусом ели. Поселение ели под сосново-березовым пологом – явление весьма распространенное и заслуживает всяческого содействия со стороны человека. По данным О.А. Неволлина [2], в таких насаждениях наиболее полно используется среда обитания, стволы сосны и березы раньше и лучше очищаются от сучьев, к возрасту рубки запасы древесины и продуктивность увеличиваются на 15...20 %.

* Авторы выражают искреннюю благодарность доценту кафедры лесоводства и почвоведения САФУ Н.С. Минину за помощь, оказанную при написании статьи.

© Захаров А.Ю., Наквасина Е.Н., 2012

Такие сосняки представляют наибольший интерес как с биологической (взаимоотношение древесных пород, долговременная смена сосны елью), так и с хозяйственной (рациональная многоцелевая организация ведения хозяйства) сторон. Между тем, эта категория насаждений остается наименее изученной.

Наши исследования проводились в смешанных сосново-березовых насаждениях со вторым ярусом ели в Северном лесничестве (ныне Северное участковое лесничество) Обозерского лесхоза (ныне Обозерское лесничество), которое согласно действующему лесному законодательству отнесено к подзоне северной тайги [4, 6]. В 1974 г. Архангельским институтом леса и лесохимии (ныне Северный НИИ лесного хозяйства) в исходном сосново-березовом насаждении, образовавшемся после пожара 30-х годов, заложено 3 пробные площади (ПП) с различными вариантами рубок ухода. В период с 1974 г. по 1991 г. на ПП 5-74 и 6-74 было проведено три приема рубок ухода. ПП 7к-74 оставалась в качестве контроля. Пробные площади находятся в компактном расположении с близкими условиями произрастания.

Целью опытных рубок ухода служило формирование как сосново-березового, так и елового ярусов до возраста комплексной рубки, включающей главную рубку по верхнему и очередной прием рубок ухода по нижнему ярусам.

С момента закладки пробных площадей было проведено шесть повторных перечетов, первые пять – сотрудниками АИЛиЛх примерно через равные промежутки времени (4–5 лет) в 1974 г., 1979 г., 1983 г., 1987 г. и 1991 г. [8], последний – авторами совместно с сотрудниками сектора лесоводства и лесоведения СевНИИЛХ в 2010 г. Во все годы учета на ПП, как с рубками ухода, так и на контроле, осуществлялся весь комплекс лесоводственно-таксационных мероприятий, включающий сплошной пересчет древостоя по породам, измерение высот, изучение возобновления, а также камеральную обработку для определения таксационных характеристик древостоя.

Пересчет деревьев проводили по двухсантиметровым степням толщины с разделением по породам и жизненному состоянию (здоровые, сухие). Средний диаметр определяли по средней площади поперечного сечения одного дерева. Для нахождения средней высоты древостоя строили графики высот, для чего производили измерение точных диаметра и высоты у 15...17 деревьев каждой породы из всех ступеней толщины. Полноту и запас древостоя определяли с использованием стандартной таблицы сумм площадей сечений и запасов насаждения при полноте 1,0. Для учета естественного возобновления проводили сплошной пересчет подроста на пробных площадях с разделением по жизненному состоянию (жизнеспособный, нежизнеспособный, больной) и категориям крупности (крупный, средний, мелкий) с последующим переводом количества подроста на 1 га.

Таксационные показатели насаждений в годы рубок уходов представлены в табл. 1.

Первый прием рубок ухода был проведен в год закладки ПП в возрасте насаждения 39...40 лет в его сосново-березовой части. На ПП 5-74 интенсивность разреживания умеренно-высокая и в среднем по ярусу составляла 31 % по запасу, причем доля вырубленного запаса приходилась в основном на березу.

Таблица 1

Таксационные показатели насаждений до и после очередных приемов рубок ухода

Пробная площадь	Прием ухода	Ярус	Возраст ухода, лет	Состав древостоя		Густота, шт./га	Порода	Диаметр, см	Высота, м	Площадь поперечного сечения, м ² /га	Относительная полнота	Запас, м ³ /га	Интенсивность выборки, %	
				по числу стволов	по запасу								по числу стволов	по запасу
5-74	1	1	39	35С65Б	54С46Б	4600	С	9,7/10,9	10,6/11,0	12,1/11,1	0,50/0,45	76,0/72,0	26,1	5,3
				67С33Б	74С26Б	1800	Б	7,7/9,6	9,9/11,7	13,1/4,4	0,82/0,25	64,4/24,8	79,8	61,5
	2	2	52	100Е	100Е	7650	Е	3,5/5,8	3,6/6,0	7,9/4,5	-0,32	25,9/15,9	79,1	38,6
				62С38Б	64С36Б	1600	С	15,9/17,9	17,5/18,2	14,3/12,2	0,43/0,36	122,0/107,0	33,1	12,3
	3	1	56	71С29Б	69С31Б	1168	Б	15,5/19,1	17,5/18,8	8,5/5,6	0,36/0,23	68,0/48,0	56,0	29,4
				100Е	100Е	679	Е	7,0/7,0	7,1/7,1	4,8/4,4	0,31/0,28	20,4/18,5	41,9	18,4
6-74	1	1	39	54С46Б	57С43Б	5975	С	7,5/8,7	9,6/10,5	14,3/11,3	0,63/0,47	87,7/74,1	41,9	15,5
				60С40Б	61С39Б	3150	Б	7,4/9,0	9,7/9,8	11,7/8,2	0,74/0,52	65,0/46,6	53,6	28,3
	2	2	52	100Е	100Е	10800	Е	2,6/4,5	2,6/4,3	5,7/2,4	-2,4	15,9/7,7	86,1	51,6
				56С44Б	65С35Б	1755	С	14,9/16,5	17,0/17,7	17,0/14,8	0,52/0,44	142,0/128	29,3	9,9
	3	1	56	57С43Б	65С35Б	1209	Б	13,1/14,5	16,3/17,3	10,4/8,6	0,47/0,37	78,0/68	33,4	12,8
				100Е	100Е	1000	Е	6,6/6,5	6,5/6,5	3,7/3,3	0,25/0,22	15,1/13,4	31,1	10,9
7к-74	1	1	39	50С50Б	62С38Б	5885	С	8,9	10,6	18,2	0,76	122,8	-	-
				100Е	100Е	1000	Б	7,5	10,0	13,1	0,81	65,2	-	-
	2	2	52	100Е	100Е	6928	Е	3,3	3,3	5,9	-	19,5	-	-
				37С63Б	53С47Б	3153	С	15,0	17,0	20,8	0,63	174,0	-	-
3	1	56	100Е	100Е	3231	Б	11,5	16,2	20,6	0,93	154,0	-	-	
			100Е	100Е	3231	Е	4,7	4,4	5,7	0,49	17,6	-	-	

Примечание. В числителе приведены показатели до проведения приема рубок ухода, в знаменателе – после них.

Выборку из березовой части яруса осуществляли во всех ступенях толщины, в то время как из сосновой составляющей яруса выбирали только тонкомерные деревья. За счет выборки тонкомерных деревьев средний диаметр и средняя высота сосновой части яруса возросли на 1,2 см и 0,4 м, березовой части – соответственно на 1,9 см и 1,8 м. Общая густота насаждения снизилась в 2,5 раза. Доля сосны в составе насаждения увеличилась на 20,0 % по запасу и на 32,0 % по числу стволов. В результате первого приема рубок ухода из насаждения выбрано 4,0 м³/га сосны и 40,0 м³/га березы.

На ПП 6-74 произведено разреживание умеренной интенсивности (21 % по запасу). Число выбранных стволов примерно одинаково как из сосновой части яруса, так и из березовой. После разреживания средние диаметр и высота сосны увеличились на 1,2 см и 0,9 м, а аналогичные показатели березы – соответственно на 1,6 см и 0,1 м. Густота снизилась в 2 раза, но по сравнению с ПП 5-74 осталась довольно высокой и превышала ее на 75,0 %. Доля участия сосны в данном насаждении возросла незначительно. Во время первого приема с ПП 6-74 было изъято 14,0 м³/га сосны и 18,0 м³/га березы.

Второй прием рубок ухода высокой интенсивности был проведен в возрасте насаждения 52 года за еловым ярусом. Первый ярус оставался без изменений. Этим приемом сформирован примерно одинаковый по густоте еловый ярус (1600 шт./га – на ПП 5-74, 1500 шт./га – на ПП 6-74), но со значительно различающимися таксационными характеристиками. Это связано с различиями в первоначальной густоте и биометрическими показателями ели, на которые оказала влияние разная интенсивность разреживания сосново-березового яруса. Средний диаметр ели на ПП 5-74 выше на 1,3 см по сравнению с ПП 6-74, средняя высота – на 1,7 м. По сравнению с контролем эти показатели выше на 1,2...2,5 см по диаметру и на 1,0...2,7 м по высоте. Во второй прием рубок ухода из насаждения изъято 10,0 м³/га древесины ели с ПП 5-74 и 8,2 м³/га с ПП 6-74. В результате, запас елового яруса на контроле выше, чем на пробных площадях, где проведены рубки ухода.

При проведении третьего приема в возрасте насаждения 56 лет уходу подвергались оба яруса, причем в большей степени внимание было уделено сосново-березовой части насаждения (первому ярусу). В сосново-березовом пологе на ПП 5-74 была проведена рубка слабой интенсивности (18,9 % по запасу), из насаждения выбрано больше половины (56,0 %) стволов березы и 33,0 % стволов сосны. При этом средний диаметр сосновой части насаждения увеличился на 2,0 см (от 15,9 до 17,9 см), средняя высота – на 0,7 м. Березовая составляющая яруса претерпела еще большие изменения. Здесь средний диаметр возрос на 3,6 см, средняя высота – на 1,3 м. Густота первого яруса снизилась на 489 шт./га, составив 679 шт./га. Еловый ярус уходом затрагивался незначительно, уход имел целью не снижение густоты, а оздоровление насаждения. Здесь интенсивность составила 9,3 % по запасу, густота снижена на 82 шт./га, что составило 1148 шт./га ели. При проведении очередного приема рубки из насаждения изъято сосны, березы и ели соответственно 15,0; 20,0 и 1,9 м³/га.

На ПП 6-74 также проведен уход, затрагивающий как сосново-березовый ярус, так и еловый. Интенсивность рубки ухода в первом ярусе со-

ставила 10,9 % по запасу. Выборку осуществляли в сосновой и березовой частях в равной мере как по числу стволов, так и по запасу. Здесь средний диаметр сосны увеличился на 1,6 см, а средняя высота – на 0,7 м; средний диаметр березы – на 1,4 см, высота – на 1,0 м. В целом густота снижена на 546 шт./га и составила 1209 шт./га. Уход в еловом ярусе проводился аналогично ПП 5-74. В этом насаждении выборка по запасу – 11,3 %, густота снижена на 77 шт./га и составила 1000 шт./га. В результате данного ухода из насаждения выбрано сосны, березы и ели соответственно 14,0; 10,0 и 1,7 м³/га.

Всего за три приема рубок ухода сосны было изъято 19,0 м³/га с ПП 5-74 и 27,6 м³/га с ПП 6-74; березы – соответственно 59,6 и 28,4 м³/га; ели – 11,9 м³/га с ПП 5-74 и 9,9 м³/га с ПП 6-74.

После проведения последнего (третьего) приема наблюдались различия по таксационным показателям как между пробными площадями с рубками ухода, так и по сравнению с контролем. «Лидирующее положение» по средним показателям диаметра и высоты занял древостой на ПП 5-74 с меньшим числом стволов, оставленных после первого приема. Средний диаметр сосны на ПП 5-74 превышал аналогичный показатель на ПП 6-74 (с меньшей интенсивностью выборки) на 1,5 см, по сравнению с контролем – на 3,0 см; средняя высота – соответственно на 0,5 и 1,2 м. Средний диаметр березовой части дифференцирован по пробным площадям более значительно и на ПП 5-74 был на 4,6 см выше по сравнению с ПП 6-74 и на 7,6 см по сравнению с контролем; высота отличалась соответственно на 1,5 и 2,6 м.

Таксационная характеристика насаждения спустя 36 лет после проведения первого приема рубок ухода представлена в табл. 2.

Сосново-березовый ярус достиг 75-летнего возраста, но в нем до сих пор происходят процессы дифференциации и естественного отбора, что видно по количеству сухостоя. Особенно это заметно на контроле. На площадях с уходами процесс естественного отбора ослаблен, а на ПП 5-74 с высокоинтенсивным отбором практически совсем отсутствует.

По средним значениям диаметров и высот насаждений видно, что приоритет так и остался за сосново-березовым древостоем на ПП 5-74, на которой с первого приема был сформирован первый ярус наиболее оптимальной с биологической точки зрения густоты. По сравнению с контролем средний диаметр сосны на ПП 5-74 составляет 112,0 %, тогда как на ПП 6-74 – 102,0 %. Высота сосны на пробах с рубками ухода на 3,7 (ПП 5-74) и 6,1 % (ПП 6-74) выше, чем в контроле. По березовой части первого яруса различия в таксационных показателях еще более значительны. На ПП 5-74 диаметр березы превышает контроль на 60,0 %, а высота на 11,0 %, на ПП 6-74 – соответственно на 29,0 и 17,0 %.

В процессе формирования древостоя на ПП происходило перераспределение численности деревьев в категориях «подрост», «тонкомер», «древостой», связанное как с различной интенсивностью роста пород по диаметру, так и с естественным и искусственным отбором при формировании насаждения. В результате число стволов в ярусах насаждений на ПП по годам учета могло увеличиваться или уменьшаться (см. табл. 1, 2).

Таблица 2

Таксационные показатели пробных площадей на 2010 г. (спустя 36 лет после первого приема)

Пробная площадь	Состав древостоя		Порода	Средние		Относительная полнота	Число стволов, шт./га	Сухостой		Запас		Средний ежегодный прирост			
	по числу стволов	по запасу		диаметр, см	высота, м			шт./га	% от общего числа стволов	м ³ /га	% от общего*	по диаметру, см	по высоте, м	по запасу, м ³ /га	по диаметру, см
5-74	71С29Б	73С27Б	С	23,8	22	0,59	509	7	1,4	236	61,20	0,36	0,31	5,08	
	Б		Б	24,2	20,6	0,62	211	7	3,2	86,4	22,41	0,41	0,25	3,37	
6-74	<i>Итого</i>						720			322,4	83,61				
	100Е	100Е	Е	10,7	9,4	0,36	1280	7	0,5	63,2	16,39	0,2	0,16	1,83	
	58С42Б	66С34Б	С	21,7	22,5	0,6	632	83	11,6	247,8	59,77	0,36	0,33	5,59	
	Б		Б	19,5	21,7	0,5	466	60	11,4	125,4	30,25	0,29	0,33	2,98	
7к-74	<i>Итого</i>						1098			373,2	90,01				
	100Е	100Е	Е	9,5	8,3	0,48	1173	8	0,7	41,4	9,99	0,19	0,15	1,02	
	44С56Б	66С34Б	С	21,2	21,2	0,75	801	229	22,2	286	60,98	0,34	0,29	4,53	
	Б		Б	15,1	18,5	0,67	1018	293	22,3	148,6	31,68	0,21	0,24	2,32	
	<i>Итого</i>						1819			434	92,54				
	100Е	100Е	Е	6,2	5,8	0,73	3129	204	6,1	35	7,46	0,09	0,07	0,74	

* От суммы запасов первого и второго ярусов.

При проведении трех приемов рубок ухода в смешанных сосново-березовых насаждениях со вторым ярусом ели наибольший интерес представляет еловый ярус. Средние таксационные показатели ели на площадях с проведенными уходами значительно превышают показатели контроля. После последнего приема рубок ухода запас древесины елового яруса на контроле был выше по сравнению с ПП, пройденными рубками ухода. Спустя 36 лет после начала уходов на контрольной ПП запас стволовой древесины ели стал ниже на $6,5...28,0 \text{ м}^3/\text{га}$, чем на пробных площадях с разреженным пологом первого яруса. Это связано с различиями в интенсивности роста ели по диаметру под сосново-березовым пологом разной густоты. Средний ежегодный прирост ели по диаметру на участках с рубками ухода примерно одинаков и составлял $0,19...0,20 \text{ см/год}$, что в 2 раза превышает данный показатель на контроле ($0,09 \text{ см/год}$). Аналогичная закономерность наблюдается и с показателем среднего ежегодного прироста ели в высоту.

В результате, несмотря на то, что на контрольной ПП отмечено почти трехкратное превосходство по числу стволов на 1 га, средний ежегодный прирост елового яруса по запасу на $0,28...1,09 \text{ м}^3/\text{га}$ ниже по сравнению с насаждениями, пройденными рубками ухода. Средний объем хлыста на ПП 5-74 составляет $0,050 \text{ м}^3$, на ПП 6-74 – $0,035 \text{ м}^3$, в контроле – $0,011 \text{ м}^3$, что свидетельствует о формировании разной товарной структуры ели при проведении рубок ухода различной интенсивности и при естественном формировании насаждения. Рубки ухода обеспечивают лучшие условия роста и развития елового яруса в смешанном насаждении.

Анализ динамики роста и формирования первого и второго ярусов в смешанном насаждении, пройденном трехприемными рубками ухода, позволяет оценить подход к их проведению с точки зрения «возраст – интенсивность». Необходимо отметить, что проведение первого приема рубок ухода в сосново-березовых насаждениях в конце второго класса возраста (исходный возраст насаждения составлял 39 лет) является необоснованно поздним. Поэтому на первом ярусе растущего древостоя не в полной мере проявилась ожидаемая лесоводственная эффективность. Различия в таксационной характеристике сосновой части насаждений, пройденных уходами, по сравнению с контролем небольшие, хотя на формирование первого яруса были направлены первый и третий приемы рубок ухода. Значительное улучшение наблюдается по березе, диаметр которой увеличился в 1,5 раза, а не по хозяйственно-ценной сосне.

В то же время, проведенные в насаждении приемы по уходу за лесом, обеспечили формирование елового яруса. Под пологом насаждений, пройденных рубками ухода, средний диаметр ели выше на $53,2...72,6 \%$, а средняя высота – на $43,0...62,0 \%$ по сравнению с контролем. Качество ели на пробных площадях с рубками ухода улучшилось, доля сухостоя составляет на них всего $0,5...0,7 \%$, тогда как на контроле достигает $6,0 \%$.

В настоящее время на площадях с рубками ухода сформировался древостой, в котором сосново-березовый ярус растет по I–II классу бонитета, что

позволит через 6...10 лет в данных насаждениях провести комплексную рубку, которая в этом случае, согласно приказу Рослесхоза [5], допускается в древостоях старше 80 лет. При условии сохранения елового яруса при рубке в дальнейшем может быть получено еловое насаждение, которое обеспечит формирование хвойного древостоя без промежуточной смены на лиственный.

Таким образом, проведенные исследования по результатам трехприемных рубок ухода в смешанных сосново-березовых насаждениях со вторым ярусом ели на новом возрастном этапе формирования насаждений подтвердили ранее полученные выводы [7] о ведении хозяйства в таких древостоях. Подобные рубки ухода несут не только хозяйственную, но лесоводственно-биологическую и экологическую значимость, а также направлены на формирование древостоев через смену пород сосна – ель – сосна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Зябченко С.С.* Сосновые леса Европейского Севера. Л.: Наука. Ленингр. отделение 1984. 244 с.
2. *Неволин О.А.* Основы хозяйства в высокопродуктивных сосняках Севера: Архангельск. Сев.-Зап. кн. изд-во, 1969. 103 с.
3. *Неволин О.А., Третьяков С.В., Еремина О.О.* Динамика высокопродуктивных сосново-березовых насаждений // Лесн. журн. 2008. № 5. С. 21–29. (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Приказ Минсельхоза РФ «Об утверждении перечня лесорастительных зон и лесных районов Российской Федерации» от 04.02.2009 № 37.
5. Приказ Рослесхоза «Возрасты рубок лесных насаждений» от 19.02.2008 г. № 37.
6. Приказ Рослесхоза «Об утверждении Перечня лесорастительных зон Российской Федерации и Перечня лесных районов Российской Федерации» от 09.03.2011 г. № 61.
7. *Чибисов Г.А., Вялых Н.И., Минин Н.С.* Воспроизводство хвойных системой рубок ухода и рубок главного пользования в таежной зоне Европейского Севера // Тр. XI съезда русского географического общества. Т. 8. С.-Петербург, 2000.
8. *Чибисов Г.А., Нефедова А.И.* Рубки ухода и фитоклимат. Архангельск, 2007. 266 с.
9. *Чибисов Г.А.* Смена сосны елью. Архангельск: СевНИИЛХ, 2010. 150 с.

Поступила 20.10.11

A.Yu. Zakharov, E.N. Nakvasina

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

Results of Three-Step Thinning in Mixed Pine Forests with Second Storey of Spruce

The article analyzes three steps of thinning in mixed pine forests with second storey of spruce. Forestry effectiveness of thinning of pine-birch and spruce storeys is determined. Some recommendations for thinning in mixed stands are presented.

Key words: thinning, mixed pine stands, pine-birch storey, spruce storey, forestry effectiveness.

УДК 674.032.475.4

З.Я. Нагимов, И.Н. Артемьева, В.З. Нагимов

Уральский государственный лесотехнический университет

Нагимов Зуфар Ягфарович родился в 1956 г., окончил в 1979 г. Уральский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой лесной таксации и лесоустройства, декан лесохозяйственного факультета Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет более 150 научных работ по проблемам роста и биологической продуктивности лесов.

E-mail: nagimov@usfeu.ru



Артемьева Ирина Николаевна родилась в 1985 г., окончила в 2007 г. Уральский государственный лесотехнический университет, аспирант УГЛТУ. Имеет 6 научных работ по проблемам роста и структуры фитомассы лесов.

E-mail: nagimov@usfeu.ru



Нагимов Валерий Зуфарович родился в 1984 г., окончил в 2007 г. Уральский государственный лесотехнический университет, аспирант УГЛТУ. Имеет около 10 печатных научных работ по проблемам роста и структуры фитомассы лесов.

E-mail: nagimov@usfeu.ru



СТРУКТУРА И ДИНАМИКА НАДЗЕМНОЙ ФИТОМАССЫ СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ ЛИШАЙНИКОВОГО ТИПА ЛЕСА

Изучена структура надземной фитомассы сосновых древостоев в лишайниковом типе леса. Выявлены закономерности формирования стволовой и кроновой массы древостоев и составлена таблица для их оценки.

Ключевые слова: сосняк лишайниковый, надземная фитомасса, пробные площади, модельные деревья, уравнения зависимости.

Согласно решениям Киотского протокола многие страны, в том числе и Россия, приступили к реализации программ по связыванию и консервации углерода в его глобальном круговороте. Оценка углерододепонирующей способности лесов может обеспечить нашей стране высокие экологические и экономические выгоды, а сдерживающим фактором в реализации указанного протокола является нехватка экспериментальных данных о депонировании углерода в фитомассе и первичной продукции насаждений [2, 10]. Известно, что депонирование углерода в любой точке Земли для изменения состояния биосферы равноценно, так как эмиссии этого газа не концентрируются над определенными территориями, а рассеиваются в атмосфере планеты [4]. Поэтому признается важность региональных оценок запасов углерода с использованием

экспериментальных данных по биологической продуктивности насаждений. В сосняках лишайниковых Западной Сибири подобные работы ранее не проводились.

Настоящие исследования являются составной частью комплексных работ по изучению роста и продуктивности сосняков лишайниковых Ханты-Мансийского автономного округа (ХМАО) в пределах Сибирско-Уральской ландшафтной области и выполнены на территории Аганского и Мегионского лесничеств. Район исследований по схеме зонального расчленения Западно-Сибирской равнины Г.В. Крылова и А.Г. Крылова [3] находится в северной подзоне таежной зоны. Экспериментальным материалом послужили данные 24 пробных площадей, заложенных в соответствии с ОСТ 56-69–83 [6]. На всех пробных площадях выполнялся сплошной пересчет деревьев по породам, ступеням толщины и классам роста и развития по Крафту. Модельные деревья отбирались по способу пропорционального ступенчатого представительства. У них, кроме общепринятых таксационных показателей, в соответствии с методическими рекомендациями В.А. Усольцева и З.Я. Нагимова [11] определялась надземная фитомасса в свежесрубленном и абсолютно сухом (после высушивания в термостатах до постоянного веса) состояниях по фракциям: древесина и кора ствола, древесина и кора ветвей, хвоя, генеративные органы (шишки) и отмершие ветви. Всего было срублено и обмерено более 220 модельных деревьев. Таксационные показатели модельных деревьев и древостоев на пробных площадях определялись в соответствии с общепринятыми в лесной таксации методами, запас фитомассы по фракциям – на основе пересчетной ведомости после графического выравнивания соответствующих данных модельных деревьев в зависимости от их диаметров.

Исследования проведены в наиболее распространенных в данном районе (типичных) древостоях лишайникового типа леса. Пробными площадями охвачены чистые одновозрастные сосновые насаждения I–VII классов возраста с относительной полнотой 0,53 ... 0,82.

Надземную фитомассу оценивали отдельно по естественным возрастным рядам роста и развития, которые были выделены при изучении хода роста древостоев. Особенности роста древостоев и их надземная фитомасса изучены на материалах одних и тех же пробных площадей.

Анализ экспериментального материала показал, что сосновые насаждения в лишайниковом типе леса района исследований характеризуются V и Va классами бонитета. Поэтому при определении принадлежности древостоев к одному естественному ряду в пределах исследуемого типа леса исходные материалы были сгруппированы по общности класса бонитета. В пределах классов бонитета, с учетом рекомендаций Г.С. Разина [7], пробные площади, у которых видовая высота отклонялась от выровненной средней более чем на 10 % в молодняках и на 7 % в насаждениях более старшего возраста, из дальнейшей обработки исключались.

Возрастную динамику надземной фитомассы древостоев выявляли графо-аналитическим методом с использованием средств статистико-графической системы STATGRAPHICS Plus for Windows. Для статистической оценки рабатываемых уравнений указанной системой предусмотрено вычисление коэффициента детерминации (R^2), стандартной ошибки (δ), достоверности коэффициентов по критерию Стьюдента (t) и др. показателей. При описании зависимостей отдельных фракций надземной фитомассы древостоев от их среднего возраста лучшие результаты обеспечили уравнения полиномиальной регрессии:

$$Y = a_0 + a_1X^1 + a_2X^2 + \dots + a_nX^n. \quad (1)$$

Полученные отдельно по классам бонитета коэффициенты уравнений (1) для различных фракций абсолютно сухой фитомассы приведены в табл. 1.

Анализ данных табл. 1 показал, что в абсолютном большинстве случаев коэффициенты регрессии значимы на 5 %-м уровне. Все уравнения характеризуются сравнительно низкими для указанных зависимостей ошибками. Коэффициенты детерминации свидетельствуют о правильности подобранных для аппроксимации линий. Причем в исследуемых древостоях при описании возрастной динамики фитомассы крон вполне надежные результаты обеспечивает полиномиальное уравнение второй степени, а зависимость фитомассы стволов и хвои от возраста более точно передается полиномом третьей степени.

На основе коэффициентов уравнений табл. 1 по заданным значениям возраста отдельно по классам бонитета была определена фитомасса древостоев на 1 га по фракциям. Фрагмент разработанной таблицы приведен ниже (табл. 2). Для повышения информативности она дополнена таксационными показателями древостоев (средняя высота, средний диаметр и запас), которые были предварительно определены графоаналитическим методом.

Таблица 1

Характеристика уравнений зависимости фракций фитомассы основных древостоев лишайникового типа леса от их возраста

Фракция фитомассы, т/га	Коэффициенты				R^2	δ
	a_0	a_1	a_2	a_3		
Класс бонитета – V						
Ствол	0,167023	0,223807	0,004576	-0,000022	0,84	0,16
Древесина ствола	0,601928	0,127852	0,004835	-0,000022	0,84	0,20
Крона	1,387140	0,116572	-0,000242	–	0,72	0,13
Хвоя	0,752827	0,069677	-0,000620	0,000002	0,70	0,07
Класс бонитета – Va						
Ствол	-1,224330	0,096454	0,004236	-0,000018	0,84	0,21
Древесина ствола	-0,438561	0,031343	0,004300	-0,000017	0,84	0,17
Крона	0,728352	0,103588	-0,000172	–	0,72	0,17
Хвоя	0,664635	0,057790	-0,000484	0,000001	0,71	0,03

Анализируя полученные данные, необходимо отметить следующее. Закономерности изменения запасов стволов в зависимости от возраста и условий местопрорастания (классов бонитета) в весовых и объемных единицах практически совпадают. Фитомасса стволов в однородных лесорастительных условиях закономерно возрастает с увеличением возраста, при фиксированном возрасте она выше в насаждениях более высокого класса бонитета. Масса 1 м³ стволовой древесины в коре в абсолютно сухом состоянии закономерно увеличивается с повышением возраста древостоев: в сосняках V класса бонитета – от 400 до 432 кг, в сосняках Va класса – от 405 до 433 кг. Данный факт объясняется возрастной и экологической изменчивостью плотности древесины [5].

Из табл. 2 можно получить сведения о процентном содержании коры в фитомассе стволов. Доля абсолютно сухой коры в исследуемых древостоях колеблется от 11,7 до 23,6 %. С увеличением возраста процент коры в общей фитомассе стволов заметно снижается: в сосняках V класса бонитета – от 22,8 до 11,7 %, в сосняках Va класса – от 23,6 до 12,4 %. Основной причиной такого положения является отпад коры на фоне постоянного нарастания древесины. При одинаковом возрасте процентное содержание коры несколько выше в сосняках Va класса. Данное положение объясняется тем, что при одинаковом возрасте в лучших условиях местопрорастания деревьев, слагающие древостой, характеризуются большими объемами, чем в худших условиях. Уменьшение процента коры с ростом объема (диаметра) деревьев в специальной литературе является известным фактом [9].

Таблица 2

**Таксационные показатели и абсолютно сухая надземная фитомасса
сосновых древостоев лишайникового типа леса**

Возраст, лет	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Запас, м ³ /га	Фитомасса, т/га				
				стволов			крон	
				Всего	В том числе		Всего	В том числе хвои
древеси́ны	ко́ры							
Класс бонитета – V								
20	3,4	2,3	16	6,40	4,94	1,46	3,71	1,91
40	6,0	5,7	37	15,01	12,07	2,94	5,66	2,65
60	8,4	9,5	61	25,25	20,96	4,29	7,51	3,06
80	10,5	13,2	86	35,95	30,59	5,36	9,16	3,20
100	12,4	16,6	109	46,02	39,89	6,13	10,62	3,16
120	14,1	19,2	127	54,40	47,81	6,59	11,89	3,02
140	15,5	20,9	139	60,02	52,97	7,05	12,86	2,86
Класс бонитета – Va								
20	1,8	1,3	7	2,84	2,17	0,67	2,80	1,64
40	4,0	3,6	21	8,57	6,87	1,7	4,60	2,28
60	5,9	6,3	39	15,99	13,23	2,76	6,33	2,65
80	7,8	9,3	59	24,54	20,83	3,71	7,92	2,82
100	9,4	12,2	78	33,08	28,59	4,49	9,37	2,83
120	10,9	14,8	95	40,76	35,68	5,08	10,69	2,74
140	12,3	16,9	108	46,73	40,95	5,78	11,64	2,63

Несомненный интерес представляет анализ особенностей формирования фитомассы крон и структурных элементов исследуемых сосняков. Из структурных элементов кроны особое внимание заслуживает хвоя, так как от фотосинтезирующей массы древостоя, в конечном итоге, зависит его состояние, рост и продуктивность.

Полученные нами материалы свидетельствуют, что выровненные значения запасов хвои колеблются от 1,64 до 3,20 т/га. Формирование фотосинтезирующей массы происходит в тесной зависимости от качества условий местопроизрастания. Чем богаче лесорастительные условия, тем больше возможностей имеют древостои для увеличения темпов продуцирования, а следовательно, и массы ассимиляционного аппарата. Поэтому на всем протяжении роста и развития сосняки V класса бонитета характеризуются большими запасами хвои, чем сосняки Va класса. Известно, что о характере возрастной динамики фитомассы хвои в специальной литературе встречаются различные, иногда даже противоречивые мнения [5]. Из данных табл. 2 видно, что запасы хвои с возрастом увеличиваются и, достигнув максимума, постепенно снижаются. Причем возраст кульминации запасов хвои в сосняках V класса бонитета наступает несколько раньше (80 лет), чем в сосняках Va класса (90 лет). Известно, что формирование фотосинтезирующей массы тесно связано с характером освоения древостоями ресурсов среды (свет, влага, элементы минерального питания) и интенсивностью их естественного изреживания на разных возрастных этапах [5].

Запасы фитомассы крон (живые ветви, хвоя и генеративные органы) с возрастом закономерно увеличиваются. Таким образом, характер возрастной динамики запасов крон и хвои различен. Данное положение находится в полном соответствии с материалами других исследователей. Объясняется это структурно-функциональной специализацией ветвей. Для поддержания эффективной работы ассимиляционного аппарата с возрастом дерева перестраивают крону в направлении развития неохвоенной ядровой части [8, 12]. Указанная особенность подтверждается и долей участия хвои в общей массе крон, которая с возрастом закономерно снижается (в сосняках V класса – от 51,5 до 22,2 %, в сосняках Va – от 58,6 до 22,6 %).

Формирование фитомассы крон в значительной степени определяется лесорастительными условиями. При одинаковом возрасте запасы крон значительно выше в сосняках V класса бонитета, чем в сосняках Va класса. Различия по запасам крон в относительном выражении между ними с возрастом закономерно уменьшаются. Это свидетельствует о том, что с возрастом процесс падения интенсивности накопления массы крон в лучших лесорастительных условиях идет несколько быстрее, тогда как в менее благоприятных условиях местопроизрастания он более растянут во времени.

Следует отметить, что интенсивность накопления запасов крон значительно ниже, чем запасов стволов. Так, в сосняках V класса бонитета за период от 20 до 140 лет масса стволов увеличилась в 9,4 раза, а масса крон – только в 3,5 раза.

Это связано с тем, что у отдельных деревьев накопление кроновой массы (в отличие от стволовой) с возрастом происходит на фоне частичного отпада ветвей. С возрастом темпы накопления запасов крон заметно снижаются и доля крон в общей фитомассе древостоев закономерно сокращается: в сосняках V класса бонитета – от 36,7 до 17,6 %, в сосняках Va класса – от 49,6 до 19,9 %.

Таким образом, в результате проведенных исследований впервые в лишайниковом типе леса изученного района выявлены закономерности формирования стволовой и кроновой массы сосновых древостоев. Установлено, что надземная фитомасса древостоев в абсолютно сухом состоянии колеблется от 5,64 (20-летние сосняки Va класса бонитета) до 72,88 т/га (140-летние сосняки V класса). В зависимости от возраста и класса бонитета насаждений отмечено закономерное изменение как абсолютных значений надземной фитомассы, а следовательно, их структурных частей, так и соотношений последних между собой.

Полученные нами материалы могут служить теоретической и экспериментальной основой для оценки углерододепонирующей способности древостоев, а также обоснования различных режимов выращивания насаждений в лишайниковом типе леса ХМАО.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бабич Н.А., Васильев А.В.* Ресурсный потенциал надземной фитомассы сосняка лишайникового и методы его учета // Лесн. журн. 1992. № 1. С. 20–24. (Изв. высш. учеб. заведений).
2. *Вараксин Г.С., Поляков В.И., Люминарская М.А.* Биологическая продуктивность сосны обыкновенной в Средней Сибири // Лесоведение. 2008. № 3. С. 14–19.
3. *Крылов Г.В., Крылов А.Г.* Леса Западной Сибири // Леса СССР. М.: Наука, 1969. С. 157–247.
4. *Курбанов Э.А.* Углерододепонирующие насаждения Киотского протокола. Йошкар-Ола: Изд-во МарГТУ, 2007. 184 с.
5. *Нагимов З.Я.* Закономерности роста и формирования надземной фитомассы сосновых древостоев: автореф. дис...д-ра с.-х. наук. Екатеринбург, 2000. 43 с.
6. ОСТ 56-69–83. Пробные площади лесоустроительные. Методы закладки. М., 1983. 23 с.
7. *Разин Г.С.* Изучение и моделирование хода роста древостоев (на примере ельников Пермской области) // Л.: ЛенНИИЛХ, 1977. 43 с.
8. *Семечкина М.Г.* Структура фитомассы сосняков. Новосибирск: Наука, 1978. 165 с.
9. *Третьяков Н.В., Горский П.В., Самойлович Г.Г.* Справочник таксатора. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1952. 854 с.
10. *Усольцев В.А.* Моделирование структуры и динамики фитомассы древостоев. Красноярск: Изд-во Краснояр. ун-та, 1985. 192 с.
11. *Усольцев В.А., Нагимов З.Я.* Методы таксации фитомассы деревьев. Свердловск: Урал. лесотехн. ин-т, 1988. 44 с.
12. *Усольцев В.А.* Фитомасса лесов Северной Евразии: нормативы и элементы географии. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 762 с.

Поступила 27.04.10

Z.Ya. Nagimov, I.N. Artemyeva, V.Z. Nagimov
The Ural State Forest Engineering University

Structure and Dynamics of Top Phytomass of Pine Stands in Lichen Forests

The structure of top phytomass of pine stands in lichen forests has been studied. Patterns of forming of trunk and crown mass of stands have been detected and a table for their evaluation has been compiled.

Key words: lichen pine stand, top phytomass, test areas, sample trees, equations of dependence.

УДК 630*746

В.В. Петрик¹, И.И. Дроздов², Н.Н. Васильева¹, Н.А. Кутакова¹

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

²Московский государственный университет леса

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

E-mail: harz@agtu.ru



Дроздов Иван Иванович родился в 1935 г., окончил Брянский лесохозяйственный институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой лесных культур Московского государственного университета леса, академик РАЕН, почетный работник высшего профессионального образования. Имеет более 100 научных работ, в т.ч. 2 монографии по интродукции хвойных видов.

E-mail: caf-lescult@mgul.ac.ru



Васильева Наталья Николаевна окончила в 1998 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры ландшафтной архитектуры и искусственных лесов Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет 8 научных публикаций в области интродукции кустарников на Европейский Север.

E-mail: n.vasiljeva75@mail.ru



Кутакова Наталья Алексеевна окончила в 1975 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры лесохимических производств Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет более 50 научных трудов в области технологии сорбентов и экстрактивных веществ.

E-mail: lesochim@agtu.ru



СОДЕРЖАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В ПЛОДАХ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ БАРБАРИСА ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ В УСЛОВИЯХ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА

Исследованы плоды различных видов барбариса, произрастающих в дендрологическом саду САФУ, на содержание биологически активных веществ.

Ключевые слова: барбарис, биологически активные вещества, аскорбиновая кислота, органические кислоты.

Биологически активные вещества (БАВ) играют важную роль в жизни растений, животных и человека, регулируя все жизненно важные процессы.

© Петрик В.В., Дроздов И.И., Васильева Н.Н., Кутакова Н.А., 2012

По химическому составу БАВ – это большая группа органических веществ, относящихся к различным классам: органические кислоты, спирты, альдегиды, эфиры, алкалоиды, флавоноиды, стеринны, пигменты и др. [5].

Основными БАВ являются: каротиноиды, флавоноиды, антоцианы, аскорбиновая кислота, органические кислоты, витамины, сахара [6].

Целью работы являлось изучение БАВ, включая аскорбиновую кислоту и флавоноиды, как наиболее ценные из них, в составе плодов различных видов барбарисов, произрастающих в дендрологическом саду САФУ. Все виды барбарисов интродуцированы и находятся в фазе плодоношения [7].

Исследования проведены совместно с сотрудниками кафедры лесохимических производств САФУ.

Плоды без порчи и гнили собраны в период их полного созревания, окраска от ярко красного до темно-бордового цвета (*Berberis Thunbergii* DC.), эллипсоидальной формы, в мякоти по 2 семечка, реже 3-4 (*Berberis Thunbergii* DC.). В одном эксперименте плоды исследовали сразу (первый способ), в другом – подвергали заморозке после сбора и хранили при температуре –8 °С (второй способ).

В ходе исследований установлен количественный состав БАВ в плодах различных видов инорайонных барбарисов, произрастающих на Европейском Севере. Результаты представлены в таблице.

Методика исследований

Для определения влажности использовали методику [5], при проведении качественного анализа на содержание флавоноидов применяли методику [4], количественного – ГОСТ 3852–93 [1]. Аскорбиновую кислоту определяли по методике [9]. Для характеристики антоцианов использовали [4], органических кислот и титруемой кислотности – ГОСТ 1994–93 [1] и ГОСТ 25555.0–82 [2], каротиноидов – [9], сахаров – [8].

Как видно из таблицы, содержание аскорбиновой кислоты в плодах всех видов барбарисов высокое: от 76 до 359 мг% при исследовании в свежем виде, от 127 до 181 мг% при анализе плодов после процесса замораживания. Аскорбиновая кислота проявляет защитное действие при инфекционных заболеваниях человека и особенно ценна для жителей Крайнего Севера и северных районов России.

Известно, что общая кислотность характеризует содержание яблочной, щавелевой, хлорогеновой и других органических кислот, которые влияют на биосинтез других БАВ. Наибольшее содержание органических кислот было обнаружено в плодах *Berberis Thunbergii* DC.: 28,19 % в свежих плодах, 29,09 % в плодах после процесса замораживания.

Каротиноиды проявляют антиокислительную активность, замедляют процессы старения, участвуют в поддержании зрительной функции. По содержанию каротиноидов плоды соответствуют требованиям, предъявляемым

**Состав (на абс. сухую массу) БАВ,
содержащихся в плодах различных видов барбариса**

Вид барбариса	Влажность,	Органические кислоты,	Аскорбиновая кислота		Флавоноиды, % в пересчете на		Каротиноиды, мг%
	%		%	мг%	рутин	кверцетин	
Амурский –	<u>68,25</u>	<u>13,08</u>	<u>0,096</u>	<u>96</u>	<u>0,24</u>	<u>0,73</u>	<u>0,9</u>
<i>Berberis amurensis</i> Rupr.	73,13	12,62	0,118	118	–	0,62	–
Обыкновенный –	<u>70,73</u>	<u>7,02</u>	<u>0,359</u>	<u>359</u>	<u>0,17</u>	<u>0,58</u>	<u>0,8</u>
<i>Berberis vulgaris</i> L.	58,76	10,33	0,149	149	–	–	–
Тунберга –	<u>76,74</u>	<u>28,19</u>	<u>0,306</u>	<u>306</u>	<u>0,25</u>	<u>0,91</u>	<u>1,1</u>
<i>Berberis Thunbergii</i> DC.	75,97	29,09	0,181	181	–	–	–
Темно-пурпуровый –	<u>63,60</u>	<u>12,08</u>	<u>0,076</u>	<u>76</u>	<u>0,18</u>	<u>0,67</u>	<u>1,7</u>
<i>Berberis vulgaris f. atropurpurea</i> Rgl.	75,57	12,20	0,159	159	–	–	–
Продолговатый –	<u>64,90</u>	<u>17,00</u>	<u>0,120</u>	<u>120</u>	<u>0,21</u>	<u>0,78</u>	<u>1,9</u>
<i>Berberis oblonga</i> (Rgl.) C.K. Schneid.	81,84	17,57	0,165	165	–	–	–
Регеля –	<u>69,77</u>	–	<u>0,224</u>	<u>224</u>	–	–	–
<i>Berberis regeliana</i> Koehne ex C.K. Schneid.	68,73	13,99	0,142	142	–	–	–
Городчатый –	<u>70,06</u>	<u>16,30</u>	<u>0,142</u>	<u>142</u>	<u>0,30</u>	<u>0,13</u>	<u>1,9</u>
<i>Berberis emarginata</i> Willd.	72,14	19,76	0,127	127	–	–	–
Многоцветковый –	<u>61,10</u>	<u>16,08</u>	<u>0,133</u>	<u>133</u>	<u>0,23</u>	<u>0,11</u>	<u>1,5</u>
<i>Berberis polyantha</i> Hemsl.	70,51	21,16	0,178	178	–	–	–

Примечание. В числителе приведены данные за 2011 г. о составе свежих плодов; в знаменателе – за 2010 г. после замораживания плодов.

к лекарственному сырью [1, 3]. В ходе исследований максимальное содержание каротиноидов отмечено в плодах *Berberis oblonga* (Rgl.) C.K. Schneid. и *Berberis emarginata* Willd. (1,90 мг %), что соответствует более поздним срокам созревания и сбора плодов.

Флавоноиды – вещества полифенольной структуры, локализуются в клеточном соке, находятся в виде гликозидов и в свободном виде. Они сочетают в себе антиоксидантные, капилляро-протекторные, иммуномодулирующие свойства. Наибольшее количество флавоноидов (0,91 %) обнаружено в *Berberis Thunbergii* DC., что свидетельствует о возможности применения лекарственного материала в качестве капилляро-укрепляющего средства.

Антоцианы отвечают за окраску листьев и плодов, представляют интерес как пищевые красители. В то же время они перспективны в составе косметических композиций для защиты от неблагоприятных факторов – ультрафиолетового излучения, поражения вирусными инфекциями и т.п. В плодах

Berberis amurensis Rupr. содержание антоцианов составляет 1,56 %, т. е. выше, чем содержание флавоноидов, что свидетельствует о глубоких вторичных процессах метаболизма.

Исследования плодов *Berberis amurensis* Rupr. на содержание сахара показали его наличие в пределах 10 %.

Сравнение результатов исследований плодов, подвергшихся различным способам хранения, показало, что как первый, так и второй способ могут применяться при определении БАВ. Выбор способа хранения определяется только сроками использования сырья перед переработкой. В ряде случаев выход БАВ после процесса замораживания выше, чем при использовании плодов в свежем виде. Это происходит из-за разрыва межклеточных связей что способствует более легкому выходу БАВ при их извлечении и должно быть учтено в промышленном производстве.

Выводы

Убедительно доказано наличие ряда БАВ в плодах барбариса различных видов.

Установлено, что по содержанию аскорбиновой кислоты, флавоноидов и органических кислот плоды барбариса следует отнести к ценным видам лекарственного сырья и выращивать как дополнительный источник витаминов в районах Европейского Севера.

Показано, что при хранении плодов как в свежем, так и в замороженном виде, БАВ сохраняются, выбор способа хранения имеет значение при использовании сырья в промышленных целях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 1994–93. Плоды шиповника. Технические условия.
2. ГОСТ 25555.0–82. Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения титруемой кислотности.
3. ГОСТ 3852–93. Плоды боярышника. Технические условия.
4. *Коренская И.М., Ивановская Н.П., Измалкова И.Е.* Лекарственные растения и лекарственное растительное сырье, содержащие флавоноиды, кумарины, хромоны: учеб.-метод. пособие для вузов. Воронеж: ИПЦ Воронеж. гос. ун-та, 2007. 82 с.
5. *Кутакова, Н.А., Селянина С.Б., Селянина Л.И.* Анализ БАВ и древесной зелени: метод. указания к выполнению лаб. работ. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2003. 32 с.
6. *Лобанова А.А., Будаева В.В., Сакович Г.В.* Исследование биологически активных флавоноидов в экстрактах из растительного сырья // Хим. раст. сырья. 2004. № 1. С. 47–52.
7. *Малаховец, П.Н., Тисова В.А.* Плодоношение интродуцентов в условиях Севера // Лесн. журн. № 2–3. 1999. С. 40–45. (Изв. высш. учеб. заведений).
8. Практикум по биохимии растений / Под ред. Б.П. Плешкова. М.: Колос, 1976. 244 с.
9. Химический анализ лекарственных растений / Под ред. Н.И. Гринкевич. М.: Высш. шк., 1983. 176 с.

Поступила 20.10.11

V.V. Petrik¹, I.I. Drozdov², N.N. Vasilyeva¹, N.A. Kutakova¹

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

²Moscow State Forest University

Content of Biologically Active Substances in Various Barberry Species Cultivated in the European North

The article studies the content of biologically active substances in various barberry species growing in the dendrological garden of the Northern (Arctic) Federal University.

Key words: barberry, biologically active substances, ascorbic acid, organic acids.



УДК 630*383

А.А. Камусин, Д.М. Левушкин

Московский государственный университет леса

Камусин Альберт Абетдинович родился в 1938 г., окончил в 1967 г. Уральский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой транспорта леса Московского государственного университета леса, заслуженный работник высшей школы РФ, действительный член РАЕН по секции наук о лесе. Имеет более 100 научных публикаций, включая 6 авторских свидетельств, 1 учебник и 9 учебных пособий для вузов.

E-mail: kamusin@mgul.ac.ru



Левушкин Дмитрий Михайлович родился в 1980 г., окончил в 2003 г. Московский государственный университет леса, старший преподаватель кафедры транспорта леса Московского государственного университета леса. Имеет около 15 печатных работ в области совершенствования процесса транспорта леса.

E-mail: levushkin@mgul.ac.ru



ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТИ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Установлена зависимость прочности основания из мела и конструкции дорожной одежды в целом от несущей способности грунтового основания.

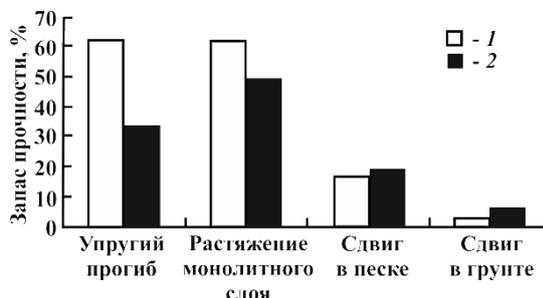
Ключевые слова: лесовозная дорога, дорожная одежда, основание из мела, испытания.

Эффективное функционирование и устойчивое развитие сети лесовозных автомобильных дорог являются необходимыми условиями экономического роста, повышения конкурентоспособности и снижения издержек товаропроизводителей, улучшения условий жизни населения, выравнивания уровня социально-экономического развития регионов России.

Ввод в действие новой инструкции ОДН-216.046–01 по расчету дорожных одежд нежесткого типа требует пересмотра технологии поиска оптимальных дорожных одежд. Оценка их прочности показывает, что толщина конструкций в основном определяется расчетом на сдвиг в подстилающих слоях основания земляного полотна (рис. 1).

© Камусин А.А., Левушкин Д.М., 2012

Рис. 1. Оценка запаса прочности дорожных одежд нежесткого типа, рассчитанных согласно ОДН 216.046–01: 1 – дорога IV технической категории, 2 – III категории



Запас прочности по упругому прогибу составляет 33...42 %, на растяжение при изгибе монолитных слоев покрытия – 49...62 %, на сдвиг в подстилающем слое песка – 17...19 %, на сдвиг в грунте земляного полотна – 2...6 %. Значительный запас прочности на упругий прогиб при изгибе слоев покрытия обусловлен тем, что минимально допустимая толщина конструктивных слоев дорожной одежды, обработанных органическим вяжущим, увеличивается до 12...18 см. Подстилающий слой основания, в основном, выполняет функции дренажного слоя и практически не влияет на расчетную толщину дорожной одежды. Его толщина назначается в зависимости от дорожно-климатической зоны, типа местности по условиям увлажнения, вида грунта земляного полотна и характеристик материала подстилающего слоя. При расчете конструкций существенно ужесточились требования к проверке на сдвиг в основании земляного полотна. Исследования показали, что толщина несущего основания определяется его прочностью (модулем упругости) и несущей способностью грунтового основания. В связи с этим задача оптимизации конструкции сводится к поиску дешевого и прочного основания дорожных одежд с учетом мероприятий по повышению несущей способности нижних конструктивных слоев [1].

Данные лабораторных испытаний мела, %: содержание карбонатных пород – до 97, влажность на границе текучести – 38, раскатывания – 26, число пластичности – 12, оптимальная плотность мела – 1,84 т/м³, капиллярное насыщение – 20...25, коэффициент морозостойкости – 0,96. Через 1-2 дня выдержки в комнатных условиях (+20 °С) предел прочности при сжатии составил до 0,5 МПа, через 1-2 недели – более 1,0 МПа. Самоцементация происходила при одновременном снижении влажности образцов, которая затрачивалась на образование известкового камня.

Опытно-экспериментальный участок дорожной одежды располагался на автомобильной дороге «Ираель–Ижма–Усть-Цильма» IV технической категории с интенсивностью движения 495 авт./сут. Требуемый модуль упругости дорожной одежды – 193 МПа. Дорожная одежда представлена двухслойным асфальтобетонным покрытием на основании из мела толщиной 15...26 см, расположенном на нижнем слое из песчано-щебеночной смеси толщиной 18...30 см.

Результаты определения прочности $E_{упр}$ основания из мела, подстилающего слоя из песчано-щебеночной смеси приведены в таблице и на рис. 2 [1].

Прочность (МПа) опытного участка лесовозной автомобильной дороги «Ираель–Ижма–Усть-Цильма» по годам

Материал конструкции	2000 г.	2002 г.	2004 г.	2006 г.	2008 г.	2010 г.
Мел	130	142	154	161	165	167
Песчано-щебеночная смесь	410	165	151	131	121	120
Грунт земляного полотна – суглинок	28	24	22	–	105	98

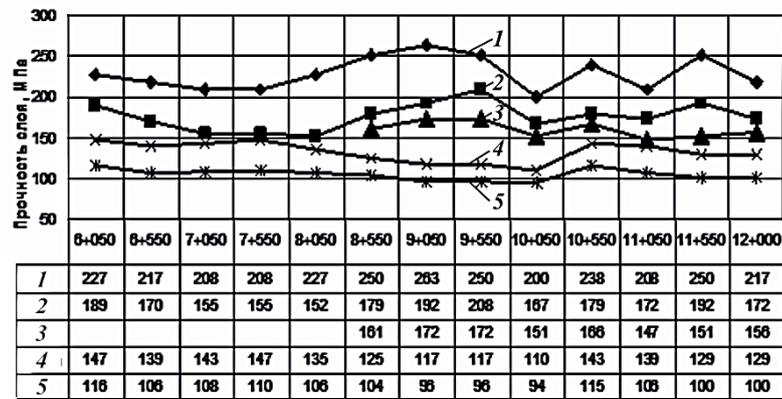


Рис. 2. Прочность конструктивных слоев дорожной одежды лесовозной автомобильной дороги «Ираель–Ижма–Усть-Цильма»: 1 – верхний слой асфальтобетона, 2 – нижний слой, 3 – основание из мела, 4 – подстилающий слой, 5 – грунт земляного полотна

Относительная влажность грунта земляного полотна на опытном участке с основанием из мела оказалась в 1,2 раза меньше, чем в случае отсутствия мела.

Оценка прочности слоев дорожной одежды выполнена на установке динамического нагружения ДИНА-3М (передвижная дорожная лаборатория 38473-0000010 КП-514МП). Определены модули упругости на поверхности основания, песчаного слоя, слоя из мела. Верхний слой из плотного асфальтобетона не был уплотнен. Модуль упругости измеряли через 200 м по полосе наката [2]. Результаты испытаний показали, что прочность конструктивных слоев обеспечена.

При этом установлены зависимости прочности основания из мела и конструкции в целом от несущей способности грунтового основания (рис. 3):

$$E_m = 2,0156E_{гр} - 6,0796; \quad (1)$$

$$E_{д.о} = 0,9349E_{гр} + 98,324. \quad (2)$$

Использование грунтов повышенной плотности в основании дорожных конструкций позволяет снизить до 23...35 % толщину и материалоемкость одежд, уменьшить до 20 % стоимость их строительства. Для оценки

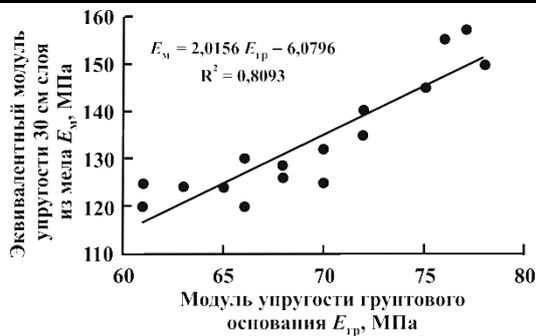
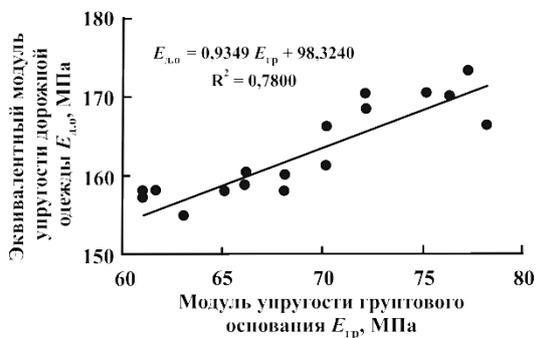


Рис. 3. Зависимость прочности основания из мела (а) и конструкции в целом (б) от прочности грунтового основания



возможности использования местных грунтов в основании дорожных одежд на дорогах Республики Коми выполнено строительство экспериментального участка с различными конструкциями дорожных одежд на дороге IV технической категории с интенсивностью движения 495 авт./сут. Район строительства характеризуется отсутствием местных каменных материалов [2, 3].

Проведенные исследования позволили разработать систему Resurs.exe управления базой данных (БД) конструкций дорожных одежд лесовозных автомобильных дорог (рис. 4, 5). База данных содержит информацию об административных и территориальных областях: грунтово-геологические условия, наличие местных дорожно-строительных материалов и т.п.

В составе БД предусмотрены отдельные информационные компоненты: файл технических параметров дороги (tecn.DBF), файл грунтово-геологических условий административных районов области или региона (gr.DBF), файл местных дорожно-строительных материалов (ДСМ) региона (ds.DBF), файл удельного расхода ДСМ на 1 м² дорожной одежды (ds1.DBF), файл оптимальных конструкций дорожных одежд из местных материалов (opt.DBF).

При оптимизации конструкции дорожной одежды в качестве целевой функции используется минимум приведенных затрат:

$$P_{np} = K_j (C_{д.о} + C_{з.п} + C_{об}) + \sum_{t=1}^{T_c} \frac{C_{gt} + C_{nt} + C_{st} + C_{dt}}{(1 + E)^t} \frac{C_o}{(1 + E)^{T_c}} \rightarrow \min, \quad (3)$$

где K_j – индекс стоимости;
 T_c – расчетный срок службы конструкции;
 $C_{gt}, C_{nt}, C_{st}, C_{dt}$ – затраты на перевозку грузов и пассажиров, приобретение подвижного состава, ДТП, эксплуатационные расходы.

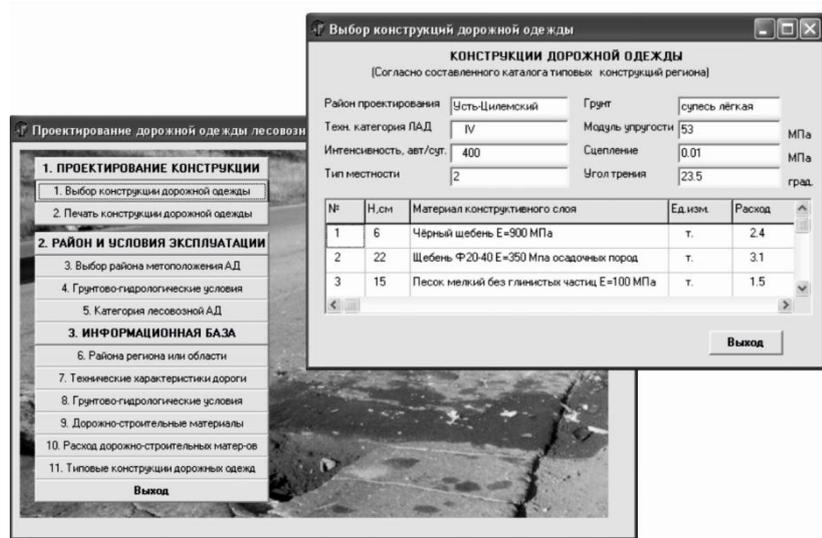


Рис. 4. Окно программы

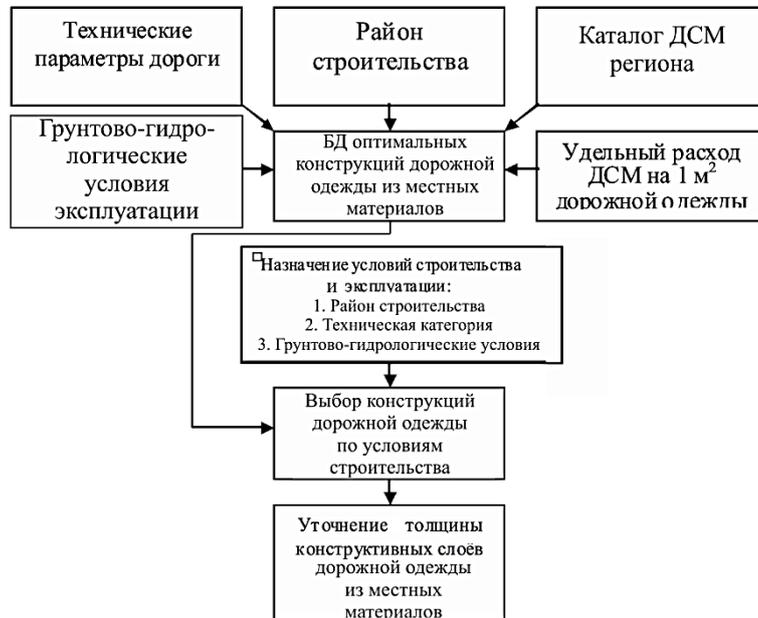


Рис. 5. Схема системы Resurs.exe

Индекс стоимости K_j определяется на основе прогноза стоимости используемых для строительства N материалов в соответствии с их относительной долей в конструкции q^i :

$$K_j = \frac{\sum_{i=1}^N K_j^i q^i}{\sum_{i=1}^N q^i}. \quad (4)$$

В ходе исследований выполнена проверка возможности использования местных материалов в строительстве дорожных одежд. Задача оптимизации конструкции дорожной одежды сводится к поиску дешевого и прочного основания дорожной одежды с учетом мероприятий по повышению несущей способности нижних конструктивных слоев грунтов земляного полотна. Рассмотрено строительство дорожных одежд с основанием из мела. Установлены зависимости прочности основания из мела и конструкции в целом от несущей способности грунтового основания. В качестве целевой функции при оптимизации конструкции предложено использовать минимум приведенных затрат.

Исследования позволили разработать систему управления базой данных ресурсосберегающих конструкций дорожных одежд.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Боровик В.С.* Проектирование организации нововведений в дорожно-строительных работах: дис. ... д-ра техн. наук. М., 1999. 256 с.
2. *Скрынников А.В., Кондрашова Е.В.* Технический отчет оценки прочности дорожной одежды автомобильной дороги местного значения «Ираель–Ижма–Усть-Цильма». Сыктывкар, 2009. 32 с.
3. Совершенствование методов планирования и организации строительства, ремонта и содержания автомобильных дорог: сб. науч. тр. / ГипродорНИИ. 1985. Вып. 43. 107 с.

Поступила 18.05.11

A.A. Kamusin, D.M. Levushkin
Moscow State Forest University

Strengthening of Logging Road Surface

The article establishes dependence of strength of the chalk foundation and pavement construction as a whole on the bearing capacity of the foundation bed.

Key words: logging road, road pavement, chalk foundation, tests.

УДК 625.711.84+625.31

А.С. Миляев

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

Миляев Александр Сергеевич родился в 1936 г., окончил в 1959 г. Ленинградское высшее военное инженерно-техническое училище ВМФ, доктор технических наук, профессор, заслуженный работник высшей школы РФ, зав. кафедрой теоретической и строительной механики С.-Петербургского государственного лесотехнического университета. Имеет более 150 научных работ в области механики деформируемого твердого тела, в том числе механики силового взаимодействия конструкций и сооружений с грунтом при статических и динамических нагрузках.
E-mail: icffi@home.ru.



ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОМЕРЗАНИЯ СЛОИСТЫХ ОСНОВАНИЙ ЗИМНИХ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ ПО ТЕКУЩИМ ЗНАЧЕНИЯМ МЕТЕОДАНЫХ

Приведена методика расчета глубины и скорости промерзания слоистых оснований зимних лесовозных дорог на базе фактических метеоданных. Методика построена на численном решении нестационарной задачи о теплопередаче в термодинамической системе «воздух – грунт» с учетом фазовых превращений поровой воды в лед.

Ключевые слова: зимние лесовозные дороги, теплопередача, промерзание оснований, фазовые превращения воды в лед.

При проектировании и эксплуатации зимних лесовозных дорог необходимо располагать информацией о распределении температуры по глубине естественного основания. Эта информация позволяет определить толщину мерзлого слоя грунта и выполнить прочностные расчеты дорожной конструкции.

Для расчета глубины и скорости промерзания оснований зимних дорог требуются сведения о состоянии атмосферы (метеоданные), о геологическом строении основания и теплофизических характеристиках грунтов в талом и мерзлом состояниях, температуре на поверхности основания в начале расчета, а также об условиях теплообмена на подошве основания.

К настоящему времени создана научная база таких расчетов [1, 7, 8, 22], разработаны руководства и рекомендации [16, 18], стандарты [2–5, 20], методики [6, 13, 14, 21], однако нормы по расчету глубины и скорости промерзания слоистых грунтовых оснований зимних лесовозных дорог на основе текущих значений метеоданных отсутствуют.

В практических расчетах используют методики, построенные на полуэмпирических формулах решения задачи о теплопередаче от атмосферы к грунту, которые базируются на статистических метеоданных, осредненных по многолетним наблюдениям [6, 16].

В работе [16] глубину сезонного промерзания неосушенных торфяников рекомендуется определять по формуле, построенной на базе аналитического решения известной задачи Стефана [10], в которой реальные аргументы заменены на среднестатистические, что в конечном итоге приводит к отрыву математической модели [16] от конкретных условий протекания процесса промерзания. В частности, по методике [16] нельзя установить зависимость изменяющегося во времени распределения температуры по глубине грунта при изменении температуры воздуха, теплопроводности и теплоемкости в зависимости от температуры слоев грунта.

Кроме того, эта методика не учитывает теплоприток от слоев грунта ниже подошвы основания в зависимости от их термодинамического состояния.

В работе [6] время, необходимое для промерзания слоя грунта заданной толщины, рекомендуется определять по формуле, базирующейся на широко известном решении одномерной стационарной задачи о передаче тепла через стенку [9], причем температура воздуха на поверхности дороги зимой отсчитывается от среднестатистической нулевой температуры за 10 лет. Это означает, что независимо от реальных текущих значений метеоданных время промерзания грунта должно отсчитываться от среднестатистической даты наступления холодов. Количество холода, необходимого для промерзания слоя грунта заданной толщины, определяется в [6] по теплоемкости массы грунта в слое при его температуре $-0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, что не соответствует физическим условиям. Так, согласно литературным данным [22], поровая вода в слоях торфа, расположенных на некоторой глубине от поверхности, замерзает при температуре $-0,3\text{...}-0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, а переход в лед связанной воды, заполняющей внутренние поры растительных волокон и их остатков, происходит при температуре ниже $-1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Методика [6] не учитывает суточные изменения температуры воздуха в расчетном отрезке времени, теплоту фазовых переходов воды в лед, зависимость теплопроводности и теплоемкости грунта от температуры, а также теплоприток от слоев грунта ниже подошвы основания в зависимости от их термодинамического состояния.

В учебном пособии [13] для теплотехнических расчетов оснований зимних лесовозных дорог используется методика [6].

Реальными суточными метеоданными (в противоположность среднестатистическим) будем называть текущие значения температуры и влажности воздуха, скорость ветра, толщину и температуру снежного покрова или поверхности грунта, измеренные в данном месте в течение расчетного интервала времени.

Методику прогнозирования глубины и скорости промерзания оснований сезонных зимних лесовозных дорог разработаем, используя реальные суточные метеоданные и численное решение нестационарной задачи о теплопередаче в термодинамической системе «воздух – грунт» с учетом фазовых превращений поровой воды в лед и зависимости теплофизических свойств грунта от температуры.

Объекты и методика исследования

Объектами исследования служат слоистые основания зимних лесовозных дорог. Методика исследования носит теоретический характер и состоит в следующем. Рассматривается замкнутая термодинамическая система (рис. 1), состоящая из слоев воздуха и грунта с известными физико-механическими и теплофизическими свойствами; начальная температура и фазовое состояние системы заданы; температура воздуха изменяется по заданному закону. Поверхности $y = 0$, $y = b$, $x = h_4$ теплоизолированы. Требуется определить изменение температуры в каждой точке системы в зависимости от изменения температуры воздуха и заданных условий на ее границе.

Распространение теплоты в слоях грунта подчиняется уравнению теплопроводности [9]:

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) + q_v, \quad (1)$$

где H – энтальпия, Дж/м³;

t – время, с;

T – температура, °С;

$\lambda_x, \lambda_y, \lambda_z$ – теплопроводность в направлении осей x, y, z , Вт/м²;

q_v – мощность внутренних источников энергии, Вт/м³.

В правой части уравнения (1) теплопроводность в направлении осей x, y, z зависит от температуры. Тепловые потоки через поверхности $y = 0$, $y = b$, $x = h_4$ отсутствуют: $Q(x, y, z, t) = 0$.

Приращение энтальпии

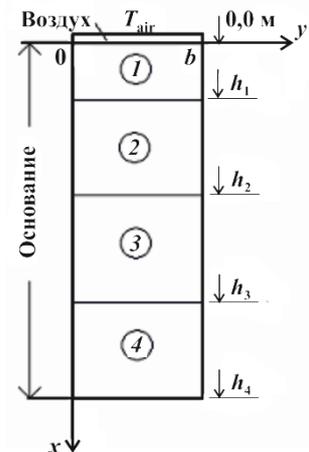
$$\Delta H = \int_{T_b}^T \rho C(T) dT, \quad (2)$$

где T_b, T – начальное и текущее значение температуры, °С;

ρ – плотность грунта, кг/м³;

C – удельная теплоемкость, Дж/(кг·°С).

Рис. 1. Общая расчетная схема: 1 – 4 – слои грунтового основания; $h_1 - h_4$ – отметки подошв слоев; T_{air} – температура воздуха, $T_{air} = T_{air}(t)$



Внутренних источников энергии в системе нет ($q_V = 0$), однако в слоях грунта при замерзании поровой воды выделяется теплота кристаллизации (Q_{gr} , Дж/м³), которую необходимо учесть в расчете. В соответствии со СНиП 2.02.04 – 88 [20] Q_{gr} принимается равной количеству теплоты, необходимой для замерзания воды в единице объема грунта, и определяется по следующей формуле:

$$Q_{gr} = Q_w(W_{gr} - W_m)\rho_s, \quad (3)$$

где Q_w – теплота кристаллизации воды, $Q_w = 3,35 \cdot 10^5$ Дж/кг;

W_{gr} – суммарная влажность грунта, доли единицы;

W_m – влажность мерзлого грунта между включениями льда, доли единицы;

ρ_s – плотность скелета грунта, кг/м³.

Примем, что Q_{gr} выделяется в интервале температур от -1 до 0 °С; $W_m = 0$.

На границе $x = 0$ происходит конвективный теплообмен:

$$Q = \alpha A(T_{air} - T_{gr}), \quad (4)$$

где Q – тепловой поток через границу $x = 0$;

α – коэффициент теплоотдачи;

A – площадь теплообмена;

T_{gr} – температура грунта на его поверхности.

Коэффициент α на границе «воздух–снег» (*snw*) и «воздух–лед» (*ice*) можно вычислить по следующим эмпирическим формулам СНиП [19]:

$$\alpha_{snw} = 23\sqrt{v + 0,3}; \quad (5)$$

$$\alpha_{ice} = 6\sqrt{v + 0,3}, \quad (6)$$

где v – скорость ветра над поверхностью теплообмена, м/с.

Уравнение (1) – нелинейное, нестационарное. Его решение возможно только численным методом. Для обеспечения устойчивости численной процедуры необходимо соблюдать определенное соотношение между «шагами» по времени Δt и пространству Δh [17]:

$$\frac{\lambda \Delta t}{\rho C (\Delta h)^2} \leq \frac{1}{2}, \quad (7)$$

где λ – теплопроводность в направлении распространения тепловой волны;

Δh – приращение пространственной координаты в направлении распространения тепловой волны.

Сформулированная задача может быть решена методом конечных элементов, например, с помощью программного комплекса «ЗЕНИТ».

Пример теплотехнического расчета

Основанием зимней дороги служит слоистый грунт, состоящий из пластов торфяного грунта (1), суглинка (2), супеси (3) и песка (4).

Ограничимся определением температуры на одной вертикали основания вдоль трассы дороги. С этой целью на оси трассы «вырежем» грунтовую колонку с размерами в плане $b \times b$ и глубиной h_4 : $b = 1,0$ м; $h_4 = 2,4$ м.

Используем прямоугольную систему координат, как показано на рис. 2.

Физико-механические и теплофизические свойства грунта принимаем по СНиП 2.02.04–88 [20].

Верхний слой (1) – торфяной грунт с плотностью скелета $\rho_s = 400 \text{ кг/м}^3$; толщина слоя – 0,5 м; относительная влажность торфяного грунта $W_{gr} = 2,00$ (в долях плотности скелета грунта); теплопроводность талого торфяного грунта $\lambda_{th} = 0,93$, мерзлого – 1,39 Вт/(м·°C); объемная теплоемкость талого торфяного грунта $C_{th} = 3,78 \cdot 10^6$, мерзлого – $2,73 \cdot 10^6 \text{ Дж/(м}^3 \cdot \text{°C)}$.

Торфяной грунт подстилается слоем суглинка (2) с плотностью скелета $\rho_s = 1400 \text{ кг/м}^3$; толщина слоя – 0,5 м; относительная влажность суглинка $W_{gr} = 0,05$; теплопроводность талого суглинка $\lambda_{th} = 0,46$, мерзлого – 1,39 Вт/(м·°C); объемная теплоемкость талого суглинка $C_{th} = 1,6 \cdot 10^6$, мерзлого – $1,47 \cdot 10^6 \text{ Дж/(м}^3 \cdot \text{°C)}$.

Третий слой (3) – супесь с плотностью скелета $\rho_s = 1400 \text{ кг/м}^3$; толщина слоя – 0,7 м; относительная влажность $W_{gr} = 0,10$; теплопроводность талой супеси $\lambda_{th} = 0,93$, мерзлой – 1,05 Вт/(м·°C); объемная теплоемкость талой супеси $C_{th} = 1,89 \cdot 10^6$, мерзлой – $1,74 \cdot 10^6 \text{ Дж/(м}^3 \cdot \text{°C)}$.

Четвертый слой (4) – песок с плотностью скелета $\rho_s = 2000 \text{ кг/м}^3$; толщина слоя – 0,7 м; относительная влажность $W_{gr} = 0,1$; теплопроводность талого песка $\lambda_{th} = 2,73$, мерзлого – 2,90 Вт/(м·°C); объемная теплоемкость талого песка $C_{th} = 2,68 \cdot 10^6$, мерзлого – $2,26 \cdot 10^6 \text{ Дж/(м}^3 \cdot \text{°C)}$.

Плотность грунта ρ_s в слоях считаем постоянной величиной.

Обозначим теплопроводность, теплоемкость и энтальпию при температуре 0 °C символами λ_0 , C_0 и H_0 . Тогда зависимости теплопроводности λ , теплоемкости C и энтальпии H от температуры можно представить в виде

$$\lambda = \lambda_0 f_1(T); C = C_0 f_2(T); H = H_0 f_3(T). \quad (8)$$

Введем безразмерные функции

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_0} = f_1(T); \bar{C} = \frac{C}{C_0} = f_2(T); \bar{H} = \frac{H}{H_0} = f_3(T). \quad (9)$$

Безразмерные функции (9) представлены на рис. 3.

Приращение энтальпии, определяемое выражением (2), для каждого слоя грунта вычисляем при начальном ($T_b = -15 \text{ °C}$) и текущих значениях температуры ($T_{-1} = -1 \text{ °C}$; $T_0 = 0 \text{ °C}$; $T_{10} = 10 \text{ °C}$), промежуточные – по программе линейной интерполяции.

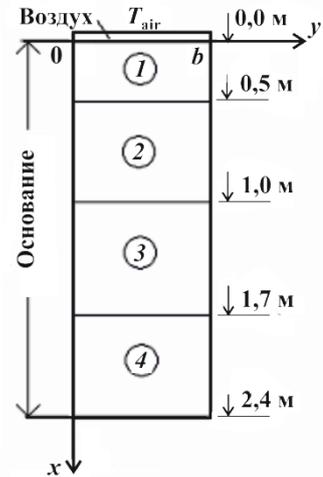


Рис. 2. Грунтовая колонка к примеру расчета

В табл. 1 приведены промежуточные значения приращения энтальпии грунтовых слоев по рис. 3.

Таблица 1

Грунт	$\Delta H \cdot 10^{-6}, \text{ Дж/м}^3, \text{ при } T, \text{ }^\circ\text{C}$			
	-15	-1	0	10
Торф	0	38,20	306,20	344,00
Суглинок	0	20,58	44,00	60,00
Супесь	0	24,30	71,20	90,10
Песок	0	31,64	98,64	125,44

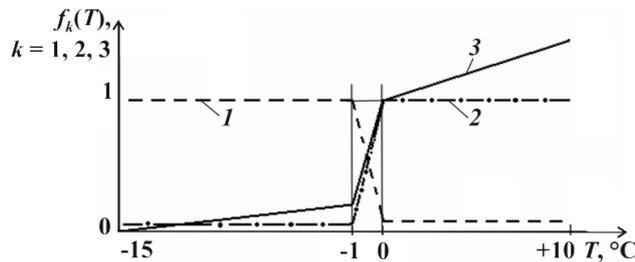


Рис. 3. Зависимости теплопроводности λ (1), теплоемкости \bar{C} (2) и энтальпии H (3) от температуры T

Граничные условия: температура воздуха $T_{air} = -16 \text{ }^\circ\text{C}$ (формула (4)); на прямых $y = 0$ и $y = 1$ м тепловые потоки $Q = 0$. В подошве основания, на прямой $x = 2,4$ м, тепловой поток $Q \neq 0$, поэтому поддерживается постоянная температура $T_{dwn} = 5 \text{ }^\circ\text{C}$.

Скорость ветра у поверхности торфа принимаем равной 5 м/с. Полагаем, что на границе «воздух–торфяной грунт» при температуре $T = -0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ образуется ледяная пленка, поэтому коэффициент теплоотдачи α_{ice} можно вычислить по формуле (6) СНиП 2.06. 04–82 [19]:

$$\alpha_{ice} = 6\sqrt{5} + 0,3 = 13,8 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C}). \quad (10)$$

Начальные условия: при $t = 0$ на поверхности основания, т.е. на прямой $x = 0$ м, температура $T = -1,5 \text{ }^\circ\text{C}$, во всех остальных точках основания, кроме подошвы, $T = -0,5 \text{ }^\circ\text{C}$.

Ставится задача: найти распределение температуры T по толщине мерзлого слоя грунта в момент времени $t_{120} = 120$ ч.

Расчет выполняется в одномерной постановке, так что в правой части уравнения теплопроводности (1) второе и третье слагаемые равны нулю. Приращение пространственной координаты в направлении распространения тепловой волны Δx полагаем 0,01 м, поэтому в направлении оси ox геометрическая модель имеет 241 узел.

Используя условие устойчивости численной процедуры (7), вычисляем допустимые шаги по времени Δt для каждого слоя грунта, результаты вычислений сводим в табл. 2.

Таблица 2

Грунт	Δt , с, при T , °С	
	-15...-1	0...10
Торф	49,1	101,6
Суглинок	70,7	87,0
Супесь	41,4	50,8
Песок	19,5	24,5

В расчете использованы: среднее значение шага по времени $\Delta t = 15$ с; минимальное – $\Delta t_{\min} = 10$ с; максимальное – $\Delta t_{\max} = 30$ с.

Для решения сформулированной задачи применяется метод конечных элементов, шаговое по времени решение и итерационная процедура приближения на каждом шаге. Точность решения на каждом шаге по времени контролируется в программном комплексе «ЗЕНИТ» с помощью итерационной процедуры по двум показателям: по стабилизации количества тепла, протекающего через конечный элемент, и по стабилизации температуры.

Аналогичная схема решения нелинейной нестандартной задачи теплопроводности была использована автором в статье [12].

Машинное время счета одного варианта задачи на персональном компьютере типа Pentium (R) с двумя центральными процессорами несущей частоты 2,6 ГГц и оперативной памятью 2 ГБ составляет около 20 мин. В результате решения задачи на каждом шаге по времени получают значения температуры в узлах конечных элементов.

Поскольку в данном случае необходимо иметь распределение температуры в грунте по прошествии 120 ч с момента установления температуры воздуха $T_{air} = -16$ °С, в файл выходных данных записаны результаты расчета только на последнем шаге по времени $t_{end} = 120$ ч.

По этим данным построены соответствующие графики зависимости температуры T_{120} от координаты x в узлах на прямой $y = 0$ м вблизи от поверхности грунтового основания дороги и у подошвы этого основания (рис. 4).

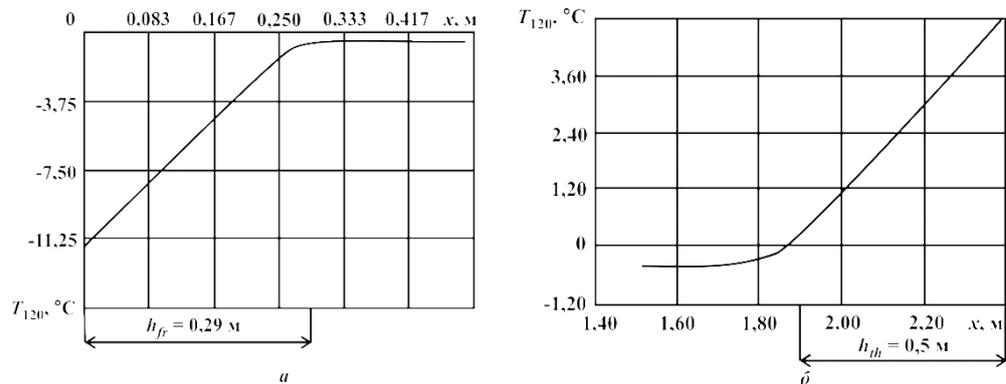


Рис. 4. Распределение температуры по глубине грунта у поверхности (а) при $T_{air} = -16$ °С; $t_{end} = 120$ ч и у подошвы (б) при $T_{dwn} = 5$ °С; $t_{end} = 120$ ч

Символом h_{fr} на рис. 4, а отмечена нижняя граница промерзания грунта. При этом принято, что торфяной грунт замерзает при температуре $-0,3$ °С. Толщина мерзлого торфяного грунта h_{fr} , полученная в расчете, составляет около 29 см. Скорость промерзания торфяного грунта равна $29/5 = 5,8$ см/сут.

Символом h_{fr} на рис. 4, б отмечена толщина незамерзшего песка вблизи от подошвы грунтового основания. Она составляет 0,5 м.

Заключение и выводы

Разработана методика автоматизированного расчета процесса промерзания грунта естественного слоистого основания зимних лесовозных дорог, в которой учитываются фактические (не усредненные за предыдущие годы) метеорологические данные в заданном интервале времени, фазовые превращения поровой воды в лед и зависимость теплофизических свойств грунта от температуры.

Методика базируется на численном решении нестационарного нелинейного уравнения теплопроводности, в котором теплопроводность, теплоемкость и энтальпия слоев грунта изменяются в зависимости от температуры этих слоев.

Эту методику можно использовать для решения теплотехнических задач при оценке несущей способности оснований сезонных зимних лесовозных дорог.

Приведенный пример расчета промерзания слоистого грунта естественного основания зимней дороги показывает, что скорость промерзания верхнего слоя основания из торфяного грунта при достаточно низкой стабильной температуре воздуха (-16 °С в течение 5 сут) может достигать 5,8 см/сут, что обеспечивает значительную толщину (29 см) мерзлого слоя.

В примере расчета влажность мерзлого грунта между включениями льда W_m принята равной нулю, поскольку, с одной стороны, ее можно определить только опытным путем после промерзания грунта, с другой – отличная от нуля W_m может только увеличивать теплоту замерзания грунта Q_{gr} в формуле (3), что может уменьшить скорость промерзания. Следовательно, в приведенном примере расчета получена нижняя граница скорости промерзания грунта.

Для оценки достоверности рассчитанной в примере скорости промерзания верхнего слоя основания из торфяного грунта при температуре воздуха -16 °С в течение 5 сут, равной 5,8 см/сут, воспользуемся результатами расчетов толщины промерзания торфа по методике работы [6]. В табл. 15 этой работы [6] приведены следующие результаты расчетов промерзания зимней дороги на болоте, покрытой снегом: влажность торфа – 1000 %; средняя температура воздуха -12 °С в течении 9 сут; средняя толщина снежного покрова – 6 см; толщина промерзания торфа – 30 см. Таким образом, средняя скорость промерзания торфа $30/9 = 3,33$ см/сут.

Учитывая, что в нашем примере расчета отсутствует снежный покров и температура воздуха принята ниже, чем в работе [6], степень достоверности приведенной в статье методики расчета можно оценить как удовлетворительную.

При известных механических характеристиках и толщине мерзлого слоя напряженно-деформированное состояние конструкции сезонных зимних лесовозных дорог можно определить по методике [11].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вялов С.С.* Реология мерзлых грунтов / Под ред. В.Н. Разбегина. М.: Стройиздат, 2000. 464 с.
2. ГОСТ 24847–81. Грунты. Методы определения глубины сезонного промерзания. М.: Госстандарт, 1981. 10 с.
3. ГОСТ 25358–82. Грунты. Метод полевого определения температуры. М.: Госстандарт, 1982. 10 с.
4. ГОСТ 26263–84. Грунты. Методы лабораторного определения теплопроводности мерзлых грунтов. М.: Госстандарт, 1984. 9 с.
5. ГОСТ 5180–84. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. М.: Госстандарт, 1985. 24 с.
6. *Дорофеев А.Г., Дорофеев В.Н.* Зимние лесовозные дороги с увеличенным сроком действия // Лесозэксплуатация и лесосплав. Обзор. информ. Вып. 10. М.: ВНИПИЭИлеспром, 1987. 52 с.
7. *Ершов Э.Д.* Общая геокриология. М.: Недра, 1990. 559 с.
8. Инженерная геокриология: справ. пособие / Под ред. Э.Д. Ершова. М.: Недра, 1991. – 439 с.
9. *Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С.* Теплопередача. М.: Энергоиздат, 1981. 416 с.
10. *Лыков А.В.* Теория теплопроводности. М.: Высш. шк., 1967. 600 с.
11. *Миляев А.С.* Автоматизированный расчет конструкций зимних лесовозных дорог: учеб. пособие. СПб: Изд-во СПбГЛТУ, 2006. 303 с.
12. *Миляев А.С.* Влияние тепловыделений биомассы подстилающего слоя на промерзание оснований зимних лесовозных дорог // Лесн. журн. 2010. №1. С. 53–58. (Изв. высш. учеб. заведений).
13. *Морозов В.С.* Теплотехнический расчет оснований сезонных зимних дорог на болотах: учеб. пособие. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2004. 79 с.
14. *Невзоров А.Л.* Фундаменты на сезоннопромерзающих грунтах: учеб. пособие. Архангельск: Изд-во АГТУ, 1999. 156 с.
15. *Павлов А.В.* Расчет и регулирование мерзлотного режима почвы. Новосибирск: Наука, 1980. 240 с.
16. Рекомендации по определению теплофизических характеристик торфяных грунтов и расчетам их промерзания и оттаивания. М.: НИИОПС Госстроя СССР, 1978. 54 с.
17. *Рихтмайер Р., Мортон К.* Разностные методы решения краевых задач. М.: Мир, 1972. 418 с.
18. Руководство по определению физических, теплофизических и механических характеристик мерзлых грунтов / ПНИИИС Госстроя СССР. М.: Стройиздат, 1973. 191 с.

19. СНиП 2.06.04–82. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов) / Госстрой России. М.: ГУП ЦПП, 1982. 37 с.

20. СНиП 2.02.04–88. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах / Госстрой России. М.: ГУП ЦПП, 2000. 52 с.

21. Строительство промышленных сооружений на мерзлом торфе / С.С. Вялов, Г.Л. Каган, А.Н. Воевода, В.И. Муравленко. М.: Недра, 1980. 144 с.

22. *Цытович Н.А.* Механика мерзлых грунтов (общая и прикладная). М.: Высш. шк., 1973. 448 с.

Поступила 11.01.11

A.S. Milyaev

St. Petersburg State Forest Technical University

Forecasting of Freezing Parameters of Layered Bases of Winter Wood-Roads According to the Current Meteorological Data

The method of calculating the depth and speed of freezing of layered bases of winter wood-roads according to the current meteorological data is introduced in the article. The method is based on a numerical solution of a non-stationary problem of heat transfer in a thermodynamic "air-ground" system with an allowance for phase transitions of interstitial water into ice.

Key words: winter wood-roads, heat transfer, freezing of bases, phase transitions of water into ice.

УДК. 630* 232.337

В.А. Якимов, Д.Г. Мясищев

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

Якимов Валерий Андреевич родился в 1987 г., окончил в 2009 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры транспортных машин Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет 1 печатную работу в области механизации лесного хозяйства.
E-mail: valera.yakimov@gmail.com



Мясищев Дмитрий Геннадьевич родился в 1959 г., окончил в 1981 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры транспортных машин Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет более 30 печатных работ в области разработки, создания и исследования мобильных средств малой механизации лесного комплекса.
E-mail: d.myasishchev@narfu.ru



ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ КОМПОНОВКИ ЛЕСНОГО ПОСЕВНОГО АГРЕГАТА НА ШАССИ 3-1/1

Рассмотрены вопросы посева хвойных культур на мелкоконтурных вырубках и в лесопарковых хозяйствах. Предложена математическая модель для оптимизации параметров посевного агрегата на шасси мотоцикла.

Ключевые слова: посевной агрегат, рубка, мотошасси 3-1/1, математическая модель, оптимизация, расход топлива.

Действующий Лесной кодекс возлагает на арендатора (гражданина или юридическое лицо), получившего участок для заготовки древесины, обязанности по выполнению лесосечных и лесовосстановительных работ. Мелкий лесопользователь часто обладает ограниченными финансовыми возможностями для приобретения ресурсов (лесохозяйственных машин, энергоносителей, рабочей силы и т.д.).

Представленные на рынке машины и агрегаты ориентированы на посев семян промышленных пород древесины, как правило, на значительных площадях. Исходя из тенденции к увеличению количества малых фермерских хозяйств (например, в Швеции составляет площадь средней лесной фермы составляет 40...50 га), а также большого объема выгоревших лесных территорий (часто распределенных неравномерно, малыми площадями, труднодоступными для традиционной лесной техники), создаются предпосылки для поиска оригинальных технических решений в области лесовосстановления.

Проведенный ранее анализ конструкций лесного высевающего оборудования и тенденций его развития [5] показывает, что малой механизации уделяется недостаточное внимание. Для решения этой проблемы в качестве поискового варианта нами предложен не характерный для лесохозяйственных машин агрегат с компоновочной схемой 3-1/1. При этом предполагается использовать базовое шасси типа мотоцикл или мокик.

Данный агрегат может работать в условиях дренированных, очищенных и подготовленных соответствующим образом (без корчевки пней) лесных участков после сплошных вырубок площадью до 5 га.

Цель работы – с помощью математического моделирования на этапе обоснования проектных решений определить совокупность базовых компоновочных параметров агрегата, определяющих минимум энергоемкости технологического процесса посева семян, с учетом повышения его экологических качеств и экономической целесообразности:

снижение затрат на изготовление, эксплуатацию и транспортировку агрегата;

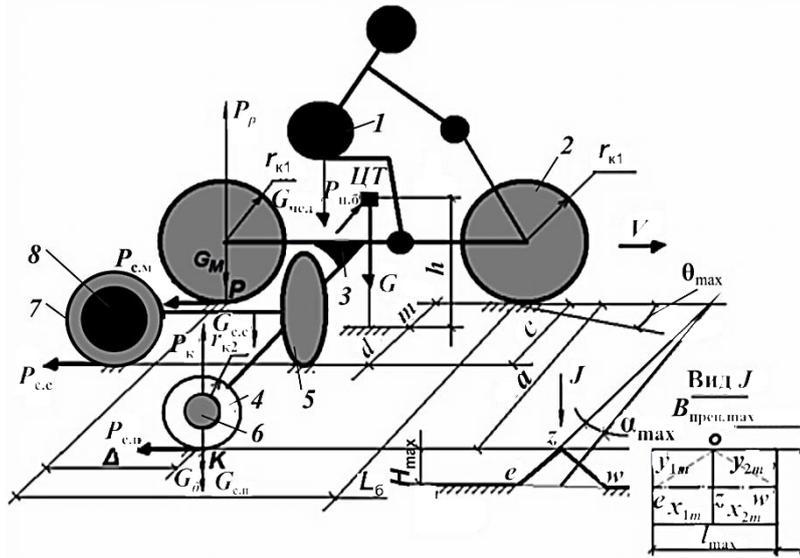
минимизация расхода топлива и, как следствие, вредного воздействия продуктов его сгорания на окружающую среду;

уменьшение энергозатрат на движение и маневрирование во время посева, что снижает отрицательное воздействие на лесной почвенный фон.

Модель строится по опытному образцу с компоновочной схемой шасси 3-1/1 и представляет собой механизированную систему «оператор – агрегат – среда функционирования» (см. рисунок), что предполагает необходимость использования положений системного анализа. Оператор 1 при выполнении технологического процесса посева управляет курсовой устойчивостью шасси 2 мускульной энергией. На фронтальной раме 3, имеющей выносную опору – фланговый колесный движитель 4 справа по ходу агрегата, скомпонованы следующие элементы конструкции: дисковый сферический сошник 5, балласт 6, опорный каток 7, высевающий аппарат 8.

Предлагаемая компоновка предполагает решение проблемы устойчивости при движении и маневрировании на низких скоростях, не препятствует работе передней и задней подвесок базового мотоцикла 2×1.

При построении модели используется ряд допущений: буксование и скольжение колес из-за малых скоростей движения не учитываются; ввиду предполагаемой однородности факторов, составляющих сопротивление движению от опорной поверхности агрегата при моделировании его прямолинейного перемещения, считаем опору машины горизонтальной поверхностью; предполагаемая однородность обрабатываемого лесного фона позволяет считать его сопротивление рабочему органу равным среднему значению; глубину обработки почвы под посев сферическим дисковым сошником в расчетах принимаем как среднюю величину с учетом многообразия взаимосвязей различных факторов процесса посева и специфики компоновки моделируемого агрегата; текущие препятствия типа «выступ» и «впадина» под правым по ходу движителем агрегата аппроксимируем в виде абсолютно жесткой равнобедренной треугольной



Расчетная компоновочная схема

призмы с заданными геометрическими параметрами; модель предполагает, что дискретные выступы и впадины лесного фона под правым движителем не накладываются друг на друга по курсу прямолинейного движения.

Потенциальные параметры варьирования в модели (см. рисунок): Δ – смещение положения бокового колеса вдоль базы тягового агрегата; a – фланговый вылет бокового опорного колеса (длина лучей-ребер пирамидальной конструкции рамы); c – расстояние между тяговым модулем агрегата и узлом крепления сошника на раме (все параметры приведены в метрах).

Подходы для построения модели взяты из тяговой и общей динамики лесных машин [4]. В качестве теоретической основы использованы фундаментальные законы сохранения энергии, сохранения количества движения и сохранения момента количества движения. Формальное построение модели базируется на методе координат [6].

Условием сохранения агрегатом прямолинейного движения является уравнивание моментов внешних сил относительно проекции центра тяжести на опорную плоскость $\sum M_{\text{ц.т.}} = 0$:

$$(c + d)P_{\text{с.м.}} + dP_{\text{с.с.}} - P_{\text{с.п.}}((a - c) - d) = 0; \quad (1)$$

$$\begin{cases} P_{\text{с.м.}} = f' G_{\text{с.м.}}; \\ P_{\text{с.п.}} = f'' G_{\text{с.п.}}; \\ P_{\text{с.с.}} = P_{\text{сш}} + f''' G_{\text{оп.к.}} + f_{\text{бор}} G_{\text{бор}}; \\ P_{\text{сш}} = k_{\text{почв}} b_{\text{сш}} a_{\text{сш}} [2]; \\ b_{\text{сш}} = 2 \sin \gamma_{\text{ат}} \sqrt{a_{\text{сш}} (D_{\text{сш}} - a_{\text{сш}})} [2], \end{cases} \quad (2)$$

где d – расстояние от точки приложения сил сошника до проекции центра тяжести всего агрегата, м;
 $P_{с.м}$ – сила сопротивления движению тягового модуля агрегата, Н;
 $f', f'', f''', f_{бор}$ – соответствующие коэффициенты сопротивления движению;
 $G_{с.м}, G_{оп.к.}, G_{бор}, G_{с.п}$ – вес соответственно тягового агрегата, опорного колеса с высевающим аппаратом, боронки и правого движителя, Н;
 $P_{с.с}$ – суммарная сила, включающая сопротивление резанию сошника, качения опорного колеса с высевающим аппаратом и сопротивление волочению боронки (для упрощения модели прикладывается к месту крепления сошника), Н;
 $P_{с.п}$ – сила сопротивления движению правого бокового опорного колеса, Н;
 $P_{сш}$ – сила сопротивления резанию сошника, Н;
 $k_{почв}$ – коэффициент сопротивления резанию, учитывающий влажность и тип обрабатываемой почвы, Н/м²;
 $b_{сш}$ – средняя ширина захвата сошника, м;
 $a_{сш}$ – средняя по посевному гону глубина борозды от сошника, м;
 $\gamma_{ат}$ – угол атаки сошника;
 $D_{сш}$ – диаметр сошника, м.

Условием сохранения поперечной устойчивости объекта при плоском прямолинейном движении агрегата без наличия препятствий под правым колесным движителем являются соотношения, когда сумма моментов сил в т. P относительно ведущего колеса $\sum M_p = 0$. Исходя из этого, имеем

$$G_{с.с}c + G_{с.п}a = Gm; \quad (3)$$

$$\begin{cases} G_{с.п} = G_{к} + G_{б}; \\ G_{к} = G_{кл} + \frac{1}{3} G_{рамы}; \\ G_{с.м} = G_{чел} + G_{м} + \frac{2}{3} G_{рамы}; \\ G = G_{с.м} + G_{с.с} + G_{с.п}; \\ G_{рамы} = 3a\gamma_{п.м}, \end{cases} \quad (4)$$

где $G_{с.с}$ – вес сошника со ступицей без учета веса высевающего аппарата с его опорным колесом и боронки, Н;
 G – эксплуатационный вес агрегата, Н;
 m – расстояние от продольной плоскости тяговой машины (мотошасси 2×1) до центра тяжести всего агрегата, м;

- G_k – вес, приходящийся на правое опорное колесо агрегата, Н;
 G_b – вес дополнительного балласта, закрепленного на опорном колесе, Н;
 G_{k1} – вес флангового опорного колеса агрегата, Н;
 $G_{рамы}$ – вес сварной рамы, которая в расчете рассматривается как равнобедренная трехгранная пирамида с вершиной, приходящейся на опорное колесо, Н;
 $G_{чел}$ – средний вес человека-оператора, Н;
 G_m – эксплуатационный вес тягового модуля агрегата, Н;
 $\gamma_{п.м}$ – вес погонного метра материала луча боковой фермы, Н/м.
 С учетом условий (4) из формулы (3) находим:

$$m = c + d = \frac{G_{с.с}c + G_{с.п}a}{G_{с.м} + G_{с.с} + G_{с.п}}. \quad (5)$$

Для расчета необходимой массы балласта рассматриваем расчетный неблагоприятный случай – переезд выступа с параметрами H_{\max} (высота максимального препятствия, м), l_{\max} (его протяженность, м) и $B_{\text{преп.мах}}$ правым опорным колесом. При этом агрегат отклоняется в поперечной плоскости на угол α_{\max} , который рассчитывается как

$$\alpha_{\max} = \sin^{-1} \frac{H_{\max}}{a}. \quad (6)$$

В данной ситуации идеализированная проекция траектории точки центра для площади контакта опорного колеса в продольном плоскостепенном направлении движения агрегата имеет меньшую протяженность, чем для ведущего колеса шасси. Это вызвано тем, что опорное колесо проходит за время t некоторый путь S_{\max} , двигаясь по препятствию протяженностью l_{\max} (см. рисунок), а ведущее колесо – некоторый путь L , равный произведению времени взаимодействия опорного колеса с препятствием (t) и линейной скорости агрегата (V). Возникающий при этом увод агрегата от прямолинейного курса оператор компенсирует поворотом управляемого колеса на угол стабилизации θ_{\max} .

Рассмотрим случай переезда возвышенности, так как опрокидывание агрегата через правый движитель при переезде им впадины маловероятно. Когда возвышенность преодолена, агрегат продолжает прямолинейное движение по заданному курсу. Следует оценить радиус вынужденного поворота агрегата $R_{\text{пов.мах}}$ при переезде экстремального препятствия высотой H_{\max} .

Для нахождения $R_{\text{пов.мах}}$ рассмотрим треугольные сечения препятствия eow и ezw – равнобедренные треугольники с основанием l_{\max} . Идеализируем процесс таким образом, чтобы выносное опорное колесо двигалось по сторонам eo и ow треугольника eow :

$$R_{\text{пов.мах}} = \frac{1}{2} \left[\frac{L_6}{\theta} + \frac{L_6 - \Delta}{\theta} \right]; \quad (7)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \beta_{\max} = \tan^{-1} \frac{2H_{\max}}{l_{\max}} ; \\ x_{1m} = x_{2m} = \frac{H_{\max}}{\sin \beta_{\max}} ; \\ y_{1m} = y_{2m} = \sqrt{x_{1m}^2 + \left(\frac{B_{\text{преп. max}}}{2} \right)^2} ; \\ S_{\max} = y_{1m} + y_{2m} ; \\ \theta_{\max} = \tan^{-1} \left(\frac{S_{\max} - l_{\max}}{a} \right) , \end{array} \right. \quad (8)$$

где $R_{\text{пов. max}}$ – потенциальный радиус поворота шасси, соответствующий H_{\max} , оценивается как среднее радиусов поворота заднего ведущего колеса и выносного опорного, м;

$L_{\text{б}}$ – база тягового модуля агрегата, м;

β_{\max} – угол у основания равнобедренного треугольника с проекцией ezw ;

x_{1m}, x_{2m} – длины граней равнобедренного треугольника с проекцией ezw , м;

y_{1m}, y_{2m} – длины сторон равнобедренного треугольника eow , м;

$B_{\text{преп. max}}$ – ширина максимального расчетного препятствия, м;

S_{\max} – моделируемый путь, пройденный правым боковым движителем при преодолении препятствия, м.

Из условия непотери контакта при вынужденном повороте направо с радиусом $R_{\text{пов. max}}$ следует, что от опорной поверхности движителя реакция в т. K (см. рисунок) должна быть $P_k \geq 0$. Рассмотрим крайний случай, когда $P_k = 0$, при этом поперечная устойчивость агрегата будет достигнута, если сумма моментов относительно т. P в поперечной плоскости, проходящей через центр тяжести машины, $\sum M_p = 0$:

$$G \cos \alpha_{\max} m - P_{\text{цб}} = 0; \quad (9)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{\text{цб}} = \frac{G}{g} \omega^2 R_{\text{пов. max}} h; \\ \omega = \frac{V}{R_{\text{пов. max}}} , \end{array} \right. \quad (10)$$

где $P_{\text{цб}}$ – центробежная сила, возникающая при повороте агрегата, Н;

ω – угловая скорость агрегата относительно центра поворота, с^{-1} ;

$R_{\text{пов. max}}$ – радиус поворота при переезде возвышенности H_{\max} , м;

g – ускорение силы тяжести, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

h – высота центра тяжести машины, м;

V – линейная поступательная скорость агрегата, м/с.

Выразив m из формул (9), (10) и подставив в соотношение (3) с учетом связей (4), находим

$$G_6 = \frac{G_{с.с}(c-A) + G_k(a-A) - A G_{с.м}}{A-a}. \quad (11)$$

Здесь A – промежуточный параметр расчета, м,

$$A = \frac{hV^2}{R_{пов.мах} q \cos \alpha_{мах}}. \quad (12)$$

Для увеличения устойчивости при нагрузках в реальных условиях (возможный коэффициент динамичности) априори принимаем в дальнейших расчетах удвоенное значение G_6 .

В последующих математических выкладках для энергетических детерминированных оценок процесса посева исходные данные относим к усредненному выступу высотой $H_{в.ср}$, протяженностью $l_{в.ср}$ и шириной $B_{в.ср}$ по курсу движения бокового колеса, а также впадине глубиной $H_{вп.ср}$, протяженностью $l_{вп.ср}$, и шириной $B_{вп.ср}$, и полученным в ходе моделирования соответствующим данным $R_{в.пов}$ и $\theta_{в.ср}$ для выступа и $R_{вп.пов}$ и $\theta_{вп.ср}$ для впадины, которые определяются аналогично рассмотренному выше подходу.

Из соответствия (1) выразим d :

$$d = \frac{P_{с.п} a - m(P_{с.м} + P_{с.п})}{P_{с.с}}. \quad (13)$$

Уточняя при найденном весе балласта значение $P_{с.с}$, находим адаптированное положение сошника относительно моташасси агрегата:

$$c_{утч} = m - d. \quad (14)$$

Для нахождения параметров топливной экономичности необходимо найти механическую работу, затрачиваемую двигателем агрегата на преодоление одного препятствия (выступа и впадины по пути движения). Она складывается из работы от сопротивления резанью сошника; работы, затрачиваемой для поворота заднего и бокового колес при переезде выступа на угол $\theta_{в.ср}$; затрат на сообщение кинетической энергии агрегату в разных режимах функционирования.

Рассчитаем затраты энергии оператором на поворот управляемого колеса моташасси для адаптации машины к заданному прямолинейному направлению движения при взаимодействия системы с препятствием. Так как рама, соединяющая остов двухколесного шасси с правым движителем, жесткая, заднее ведущее и боковое опорное колеса будем рассматривать как заднюю тележку:

$$A'_1 = M_{пер} \theta_{в.ср}; \quad (15)$$

$$A_2 = A'_2 + A''_2 + E_{к.п}; \quad (16)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} M_{\text{пер}} = \frac{\mu}{4,2} \sqrt{\frac{G_{\text{к.п}}^3}{P_{\text{ш}}}}; \\ G_{\text{к.п}} = \frac{1}{3} (G_{\text{чел}} + G_{\text{м}}); \\ A'_2 = 2M_{\text{зад}} \theta_{\text{в.ср}}; \\ A''_2 = 2P_{\text{сш}} c_{\text{утч}} \theta_{\text{в.ср}}; \\ M_{\text{зад}} = \frac{\mu G' a^2 b' k_{\text{б}}}{R_{\text{в.пов}} r_{\text{к}}}; \\ G' = \frac{2}{3} G_{\text{с.м}} + G_{\text{с.п}}; \\ b' = \frac{b_{31} + b_{32}}{2}; \\ r_{\text{к}} = \frac{r_{\text{к1}} + r_{\text{к2}}}{2}; \\ r_{\text{к1}} = 0,5D_{\text{к1}} + \lambda_{\text{ш}} B_{\text{ш1}}; \\ E_{\text{к.п}} = \frac{G(a-m)^2 (\theta_{\text{в.ср}} V)^2}{g s_{\text{ср}}^2}, \end{array} \right. \quad (17)$$

- где A'_1 – работа оператора на поворот переднего колеса на угол $\theta_{\text{в.ср}}$ при переезде выступа и возврат управляемого колеса в прежнее положение, Дж (расчет работы оператора на впадинах A'_1 производится аналогично);
- $M_{\text{пер}}$ – момент, возникающий при повороте переднего колеса в ходе маневра агрегата [3], Н·м;
- μ – коэффициент сопротивления повороту пневматических колес шасси;
- $G_{\text{к.п}}$ – вес моторного модуля агрегата, приходящийся на переднее колесо, Н;
- $p_{\text{ш}}$ – давление воздуха в шине переднего колеса, Па;
- A_2, A'_2, A''_2 – работа двигателя на преодоление сопротивлений прямолинейному движению от фактора текущего выступа поверхности лесного фона: суммарная механическая работа, приходящиеся на маневры шасси при переезде выступа от заднего и среднего колес и сошника соответственно, Дж;
- $M_{\text{зад}}$ – момент, возникающий при повороте задней тележки во время преодоления препятствия, Н·м ;
- G' – вес, приходящийся на заднюю тележку, Н;
- b', b_{31}, b_{32} – ширина колес в задней тележке: средняя, ведущего и опорного колес соответственно, м;

- k_6 – коэффициент блокировки задней тележки;
 r_k, r_{k1}, r_{k2} – расчетные радиусы колес в тележке: средний, ведущего и опорного колес соответственно (r_{k2} находится аналогично r_{k1}), м;
 D_{k1} – диаметр обода ведущего колеса, м;
 $\lambda_{ш}$ – коэффициент деформации шины;
 $B_{ш1}$ – ширина профиля шины ведущего колеса, м;
 $E_{к.п}$ – кинетическая энергия агрегата при маневре относительно правого опорного колеса, Дж;
 s_{cp} – путь, пройденный правым движителем при переезде средне-статистического выступа, рассчитывается аналогично S_{max} , м.

Из полученных математических соотношений можно прогнозировать затраты топлива, выражая их через механическую работу A_2 , которую реализует энергетическая установка данного агрегата. В нашем случае это энергия, затраченная на один маневр (или иначе – на преодоление среднестатистического по параметрам выступа):

$$q_{в.ср} = \frac{A_2}{H_u \eta_e \eta_{т.м}}. \quad (18)$$

где $q_{в.ср}$ – количество топлива, израсходованное на переезд одного идеализированного среднего препятствия, кг;

H_u – низшая теплота сгорания топлива, кДж/кг;

η_e – эффективный КПД двигателя шасси;

$\eta_{т.м}$ – механический КПД системы «рулевой привод + трансмиссия» агрегата.

Расчет расхода топлива $q_{вп.ср}$ для преодоления одной усредненной впадины на опорной поверхности посевного гона под правым движителем технологического модуля производится аналогично.

Количество затраченного топлива и энергию человека на технологический процесс необходимо привести к 1 га обрабатываемой площади. Задана средняя скорость агрегата при посеве (V , м/ч). Принимаем в модели частоту появления под правым движителем средних высоты возвышенностей (v_v) и углублений (впадин) ($v_{вп}$) (в штуках на 1 м по ходу движения). Площадку в 1 га рассматриваем как квадрат со стороной 100 м. Зная $q_{в.ср}$, находим расход топлива во время работы агрегата суммированием количества топлива на переезд всех выступов на площади в 1 га:

$$G_{в.ср} = q_{в.ср} v_v \frac{10^4}{K_r}, \quad (19)$$

где $G_{в.ср}$ – суммарный расход топлива на переезд выступов, кг/га;

K_r – технологически заданное расстояние между строчками посева на 1 га, м.

Общее количество топлива на преодоление средних впадин $G_{вп.ср}$ находится алогично.

В общий расчет потребления энергоносителя также входит энергоёмкость двигателя внутреннего сгорания агрегата при посеве в условиях прямолинейного движения без препятствий ($G_{дв.п}$, кг/ч) [1]:

$$G_{дв.п} = \frac{3,6\omega_{к.в}M_e}{\eta_e H_u}; \quad (20)$$

$$\begin{cases} M_e = P_{к.а} \frac{r_{кл}}{i_{тр} \eta_{тр}}; \\ P_{к.а} = f' G_{с.м} \cos \alpha_{укл} + P_{с.с} + f' G_{с.п}, \end{cases} \quad (21)$$

где $\omega_{к.в}$ – угловая частота вращения коленчатого вала двигателя агрегата, рад/с;

M_e – эффективный крутящий момент на коленчатом валу двигателя в режиме посева, Нм;

$P_{к.а}$ – сила тяги агрегата на ведущем колесе в режиме посева, Н;

$i_{тр}$ – передаточное число трансмиссии агрегата в режиме посева;

$\eta_{тр}$ – общее КПД трансмиссии агрегата;

$\alpha_{укл}$ – угол руководящего уклона рабочего участка, где производится высев, рад.

Из полученных зависимостей находим расход топлива ($G_{опр}$, кг) только на прямолинейное движение с учетом двух технологических разворотов в конце строчки посева (посевого гона) на всем участке в 1 га:

$$G_{опр} = 10^4 \left(\frac{1}{K_r} + 0,022 \right) \frac{G_{дв.п}}{V}. \quad (22)$$

Затраты топлива на реализацию кинетической энергии движения в данном описании не учитываются в связи с их незначительностью.

Оценим общий расход топлива на посев 1 га, (G_o , кг). Расход на преодоление всех препятствий (выступы и впадины) обозначим как $G_{преп}$ и найдем его долю в процентах от G_o . Таким образом, в итоге оценим энергетическую потребность в топливе (относительный расход топлива) всего агрегата в целом на 1 га (проектный) посевной площади вырубki:

$$G_o = G_{опр} + G_{преп}; \quad (23)$$

$$G_{преп} = G_{в.сп} + G_{вп.сп}; \quad (24)$$

$$\Delta = \frac{G_{преп}}{G_o} 100 \%. \quad (25)$$

Работа оператора, затраченная на управление при маневрировании агрегата на участке площадью 1 га ($A_{оп}$, Дж):

$$A_{оп} = A'_1 v_{в} \frac{10^4}{K_r} + v_{вп} A''_1 \frac{10^4}{K_r}. \quad (26)$$

Основываясь на обоснованных авторами исходных данных об исследовании технологического процессе (экспериментальный образец посевного агрегата на шасси мокика ЗИД-50, предполагаемая среда его применения, совокупность лесохозяйственных требований к рассматриваемому лесовосстанов-

лению в целях апробации предлагаемой модели), для модели были выбраны входные параметры и характеристики.

В ходе компьютерного тестирования модели было исследовано влияние варьирования входных компоновочных параметров a , Δ и c (см. рисунок) на исследуемые компоненты прогнозируемого расхода топлива. На данном этапе было использовано по 3 значения каждого параметра из конструктивно реализуемых диапазонов:

$$\begin{cases} a = 0,5 \dots 1,0 \dots 1,5; \\ \Delta = 0,0 \dots 0,5 \dots 1,0; \\ c = 0,3 \dots 0,7 \dots 1,0. \end{cases} \quad (27)$$

Предварительно модель варьировали 27 раз для поиска совокупности возможных оптимальных значений a , Δ и c по минимуму показателя качества G_0 (23).

Выводы

Разработанная математическая модель позволяет исследовать влияние компоновочных параметров a , Δ и c в задаче тестирования агрегата по показателю энергетической эффективности. В связи с тем, что для параметров a и Δ наблюдаются оптимумы в центральных значениях диапазонов ($G_0 = 0,342$ кг, $\%_{\text{пр}} = 5,44$) возможно использование данной модели при оптимизации проектных решений рассматриваемого оборудования на этапе проектирования. Параметры a и Δ следует обосновывать нелинейными методами оптимизации, например эвристическими. Как выяснилось, показатель c рекомендуется при расчете технологического оборудования по представленной модели брать конструктивно минимально возможным по компоновочным соображениям, чтобы снизить энергетическую нагрузку от сошника на тяговый агрегат.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антипин В.П., Десятов А.Н. Часовой расход топлива трелевочным трактором в условиях эксплуатации // Повышение потенциальных свойств машин и механизмов лесного комплекса: межвуз. сб. науч. тр. СПб.: Изд-во СПб ГЛТА, 2001. С. 13–19.
2. Бледных В.В. Устройство, расчет и проектирование почвообрабатывающих орудий: учеб. пособие. Челябинск: ЧГАА, 2010. 203 с.
3. Гинцбург Л.Л. Гидравлические усилители рулевого управления автомобилей. М.: Машиностроение, 1972. 120 с.
4. Лесные машины / Г.М. Анисимов [и др.] (под ред. д-ра техн. наук, проф. Анисимова Г.М.). М.: Лесн. пром-сть, 1989. 512 с.
5. Мясницев Д.Г. Механизация лесохозяйственных работ агрегатами на основе специализированного мотоблока: моногр. СПб.: Изд-во СПб ГЛТА. 2005. 206 с. Деп. ВИНТИ 15.04.05, № 518 – В2005.
6. Понтрягин Л.С. Знакомство с высшей математикой. Метод координат. М.: Наука, 1987. 129 с.

Поступила 15.01.11

V.A. Yakimov, D.G. Myasishchev

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

Setting Optimization Task for Assembling Forest Seeder on Walking Tractor Chassis

Problems of sowing coniferous cultures in small felling areas and aesthetic forestries have been considered. A mathematical model for parameter optimization of seeder on motorcycle chassis has been suggested.

Key words: seeder, felling area, motorchassis 3-1/1, mathematical model, optimization, fuel consumption.



МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 536.24:674.047

О.Р. Дорняк

Воронежская государственная лесотехническая академия

Дорняк Ольга Роальдовна окончила в 1978 г. Воронежский государственный университет, доктор технических наук, и.о. зав. кафедрой сопротивления материалов и теоретической механики Воронежской государственной лесотехнической академии. Имеет около 140 печатных работ в области процессов тепло- и массопереноса, математического моделирования, механики гетерогенных материалов, реологии.
E-mail: olga@dorn.vrn.ru, sushka.vrn2010@yandex.ru



МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ ДРЕВЕСИНЫ

Представлена математическая модель теплофизических процессов в древесине как в трехфазной системе с учетом широкого спектра физических и структурных факторов.

Ключевые слова: древесина, сушка, математическое моделирование, гетерофазная среда.

Прогресс в технологиях сушки древесины возможен на основе изучения фундаментальных закономерностей тепло- и массопереноса в этом сложном материале. Большое число физических и структурных факторов, определяющих результат интенсивного теплового воздействия на древесину, делает недоступным исследование механизма явлений путем прямого физического эксперимента. Успехи в этом направлении возможны при использовании методов математического моделирования.

К ограничениям известных исследований по моделированию тепломассопереноса в древесине, в частности [6, 7], следует отнести подход к древесине как к гомогенной среде, одномерный характер изучаемых процессов и недостаточный учет термодинамических особенностей поверхностно-капиллярных явлений. Для изучения движения газов и жидкостей, тепло- и массопереноса в реальных пористых средах, имеющих нерегулярную структуру, нельзя использовать обычные уравнения переноса, применяемые в сплошных гомогенных средах [5]. В таких системах как древесина, где внешние воздействия могут вызвать существенно различное поведение фаз и сделать значительными эффекты их взаимовлияния, основой математического моделирования явлений может быть механика многофазных систем [4].

© Дорняк О.Р., 2012

Цель данной работы – создание математической модели теплофизических процессов в древесине как трехфазной системе (твердая, жидкая и газообразная фазы) с учетом широкого спектра физических и структурных факторов, а также соответствующего программного комплекса.

Пусть древесный образец имеет форму бруска прямоугольного сечения (рис. 1). Материал считается трансверсально-изотропным. Волокна параллельны одной из сторон бруска, например x_3 . Начальная влажность по сечению образца может быть распределена произвольно. Жидкая фаза практически несжимаема, ее плотность постоянна. Влага из образца удаляется в виде пара. Перенос пара осуществляется преимущественно вдоль волокон и $v_1^1 \ll v_1^3$, $v_1^2 \ll v_1^3$ (где v – скорость). При этом $v_1^3 = v_1^3(x_1, x_2, x_3)$. Верхние индексы 1, 2, 3 обозначают компоненты векторов, нижние – принадлежность соответственно к газообразной (1), жидкой (2), твердой (3) фазам.

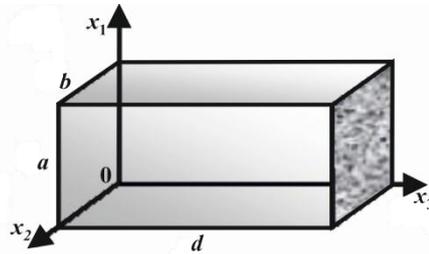


Рис. 1. Расчетная схема

Запишем уравнения для усредненных по объемам фаз значений переменных, следуя [4] и опуская знак усреднения $\langle \dots \rangle$. Например, под переменной f_2 подразумевается $\langle f_2 \rangle_2$. Подчеркнем, что усреднение макроскопических переменных производится не по всему объему образца, как это принято в гомогенных системах, а по объему конкретной фазы, что обеспечивает возможность более глубокого анализа процессов тепло- и массопереноса в изучаемой гетерофазной среде.

Газовая фаза состоит из двух компонент – неконденсирующийся газ и водяной пар. Параметры, относящиеся к первой компоненте, имеют нижний индекс 1g, ко второй компоненте – 1v. Плотность парогазовой смеси ρ_1 и концентрация χ составляющих определены следующим образом:

$$\rho_1^{\circ} = \rho_{1v}^{\circ} + \rho_{1g}^{\circ}; \chi = \frac{\rho_{1v}^{\circ}}{\rho_1^{\circ}}; 1 - \chi = \frac{\rho_{1g}^{\circ}}{\rho_1^{\circ}}. \quad (1)$$

Здесь знак « \circ » означает истинное значение физической величины.

Примем предположение об идеальности паровой и газовой компонент. Для парциального давления p и удельной внутренней энергии u имеем:

$$p_{1g} = \rho_{1g}^{\circ} T_1 B_{1g}; u_{1g} = c_{v1g} T_1; p_{1v} = \rho_{1v}^{\circ} T_1 B_{1v}; u_{1v} = c_{v1v} T_1, \quad (2)$$

где T – температура, К;

B – индивидуальная газовая постоянная, Дж/(кг · К);

c_v – теплоемкость при постоянном объеме, Дж/(кг · К);

Давление в парогазовой смеси определяется законом Дальтона для смеси идеальных газов:

$$p_1 = \rho_1^{\circ} T_1 B_1; B_1 = \chi B_{1v} + (1 - \chi) B_{1g}. \quad (3)$$

Значения скорости паровой и газовой компонент могут быть различны. Для их описания введены среднemasсовая скорость смещений элементарных макрообъемов первой фазы v_1 и диффузионные скорости пара и газа w_{1v} и w_{1g} :

$$v_1 = \chi v_{1v} + (1 - \chi)v_{1g}; \quad w_{1g} = v_{1g} - v_1; \quad w_{1v} = v_{1v} - v_1. \quad (4)$$

Относительное движение компонент определяется законом бинарной диффузии Фика:

$$w_{1g}^3 = \frac{\rho_1^0}{\rho_{1g}^0} D \frac{\partial \chi}{\partial x_3}; \quad w_{1v}^3 = -\frac{\rho_1^0}{\rho_{1v}^0} D \frac{\partial \chi}{\partial x_3}, \quad (5)$$

где D – коэффициент бинарной диффузии, зависящий в общем случае от температуры газа.

Уравнения сохранения массы для парогazовой смеси и газовой компоненты при сделанных предположениях имеют следующий вид:

$$\frac{\partial(\rho_1^0 \alpha_1)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho_1^0 \alpha_1 v_1^3)}{\partial x_3} = s_{12} j; \quad \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1; \quad (6)$$

$$\frac{\partial(\rho_1^0 \alpha_1 (1 - \chi))}{\partial t} + \frac{\partial(\rho_1^0 \alpha_1 (1 - \chi)(v_1^3 + w_g^3))}{\partial x_3} = 0, \quad (7)$$

где α – объемное содержание (безразмерная величина);

j – поток массы пара, обусловленный фазовыми переходами, отнесенный к единице времени и единице площади, кг/(м²·с);

s_{12} – удельная поверхность раздела 1-й и 2-й фаз, м⁻¹.

Случай $j > 0$ соответствует испарению, $j < 0$ – конденсации.

Запишем уравнение движения и теплопроводности парогazовой фазы при сделанных предположениях:

$$\rho_1^0 \alpha_1 \left(\frac{\partial v_1^3}{\partial t} + v_1^3 \frac{\partial v_1^3}{\partial x_3} \right) = -\alpha_1 \frac{\partial p_1}{\partial x_3} - \frac{\alpha_1 \mu_1 v_1^3}{K_{13}^{33} \Psi_1(\theta_1)}; \quad (8)$$

$$\begin{aligned} c_{p1} \rho_1^0 \alpha_1 \left(\frac{\partial T_1}{\partial t} + v_1^3 \frac{\partial T_1}{\partial x_3} \right) &= \alpha_1 B_1 T_1 \left(\frac{\partial \rho_1^0}{\partial t} + v_1^3 \frac{\partial \rho_1^0}{\partial x_3} \right) + \\ &+ \frac{\partial}{\partial x_1} \left(\alpha_1 \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial x_1} \right) + \frac{\partial}{\partial x_2} \left(\alpha_1 \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial x_2} \right) + \frac{\partial}{\partial x_3} \left(\alpha_1 \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial x_3} \right) + \\ &+ \alpha_1 B_1 T_1 \left(\frac{\partial \rho_1^0}{\partial t} + v_1^3 \frac{\partial \rho_1^0}{\partial x_3} \right) + c_{v1} s_{12} j (T_1|_{\Sigma_{12}} - T_1) + Q_{21} + Q_{31}; \end{aligned} \quad (9)$$

$$c_{p1} = \chi c_{p1v} + (1 - \chi) c_{p1g}; \quad Q_{ji} = s_{ij} \alpha_{ji}^h (T_i|_{\Sigma_{ij}} - T_i); \quad i, j = 1, 2, 3.$$

Здесь K_{13}^{mmm} – коэффициент проницаемости 1-й фазы при полном насыщении в направлении m ($m = 1, 2, 3$) м²;

$\Psi(\theta)$ – относительная фазовая проницаемость;

θ_1 – насыщенность объема порового пространства газообразной фазой;

c_p – теплоемкость при постоянном давлении, Дж/(кг·К);

λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К);

α_{ij}^h – коэффициент теплоотдачи между фазами i и j , Вт/м.

Запишем уравнение теплопроводности для твердой фазы:

$$c_3 \rho_3^0 \alpha_3 \frac{\partial T_3}{\partial t} = Q_{13} + Q_{23} + \frac{\partial}{\partial x_1} (\alpha_3 \lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial x_1}) + \frac{\partial}{\partial x_2} (\alpha_3 \lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial x_2}) + \frac{\partial}{\partial x_3} (\alpha_3 \lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial x_3}). \quad (10)$$

Постановка задачи переноса жидкой фазы для процессов сушки древесины имеет особенности, связанные с тем, что механизм переноса воды зависит от формы ее связи с твердой фазой [3]. Известно, что свободная вода неподвижна в порах, если отсутствует внешний градиент давления. Ее удаление происходит за счет испарения. Связанная вода в тонких прослойках между твердыми поверхностями не испытывает фазовых переходов и при этом практически неподвижна вследствие высокого гидродинамического сопротивления. Связанная вода другого типа, которая формирует искривленные тонкие слои жидкости, смачивающие твердую фазу и имеющие границу раздела с парогазовой смесью, движется в результате воздействия градиента давления, который обусловлен проявлениями капиллярных эффектов 1-го и 2-го рода. Движение воды в граничных слоях происходит из области с большей насыщенностью в область с меньшей. Для описания этих явлений проведено дополнительное усреднение гидродинамических параметров по объемам свободной воды, воды в тонких прослойках и смачивающих пленках.

Представим усредненное давление в жидкой фазе в виде

$$\langle p' \rangle_2 = (m_{2cb} p_{2cb} + m_{2cm} p_{2cm} + m_{2т.сл} p_{2т.сл}) / \alpha_2.$$

Здесь введены дополнительные структурные параметры объемного содержания в образце свободной воды $m_{cb} = dV_{2cb}/dV$, воды граничных слоев в тонких капиллярах $m_{т.сл} = dV_{2т.сл}/dV$ и воды в смачивающих пленках $m_{cm} = dV_{2cm}/dV$.

При решении задач кинетики переноса воды в пористых телах, где скорости течения пленок обычно невелики, можно воспользоваться уравнением Кельвина, справедливым в условиях локального равновесия на границе пленки с паром [1]. Полагая, что давление объемной жидкости равно давлению насыщенного пара над ее плоской поверхностью, для давления в смачиваемых слоях имеем:

$$p_{2cm} = p_{sat}^0 + P = p_{sat}^0 + \frac{RT}{\bar{v}} \ln \frac{p_{sat}}{p_{sat}^0}, \quad (11)$$

где p_{sat}^0 – равновесное давление насыщенного пара над мениском и над плоской поверхностью воды;

\bar{v} – объем 1 моля воды.

Так как твердая фаза древесины имеет гидрофильные свойства, мениски воды в ней вогнутые и $p_{\text{sat}} < p_{\text{sat}}^0$, то $p_{2\text{см}} < p_{\text{sat}}^0$. Формула Кельвина (11) позволяет вычислять давление в жидкости с учетом капиллярных эффектов 1-го и 2-го рода, избегая прямого вычисления капиллярного и расклинивающего давлений в тонких искривленных смачивающих пленках на поверхности твердой фазы. Используя формулу Кельвина (11) и уравнение изотермы сорбции в виде

$$\varphi = \frac{p_{1v}}{p_{\text{sat}}(T)} = F(W, T), \quad (12)$$

имеем зависимость давления воды от влажности W и температуры T в рамках равновесной термодинамики двухфазных многокомпонентных систем.

Характерное время процесса сушки может оказаться сопоставимым с временем установления полей капиллярного и расклинивающего давлений. В этом случае процесс не является равновесным. Для учета неравновесных эффектов приняты различные температуры фаз гетерофазной системы. В качестве температуры T в выражениях (11) и (12) используется температура жидкости в поверхностной фазе Σ_{12} . Уравнения сохранения массы, количества движения свободной и адсорбционной воды подробно представлены в [2]. В данной работе приведем уравнение теплопроводности жидкой фазы:

$$c_2 \rho_2^0 \alpha_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_1} (\alpha_2 \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial x_1}) + \frac{\partial}{\partial x_2} (\alpha_2 \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial x_2}) + \frac{\partial}{\partial x_3} (\alpha_2 \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial x_3}) - c_2 s_{12} j(T_2|_{\Sigma_{12}} - T_2) + Q_{12} + Q_{32}, \quad (13)$$

а также уравнения сохранения для воды в смачивающих пленках, реализуемых в тех зонах образца, где влажность древесины не превышает предела гигроскопичности:

$$\rho_2^0 \left[\frac{\partial (m_{2\text{см}})}{\partial t} + \nabla (m_{2\text{см}} \bar{v}_{2\text{см}}) \right] = -j s_{12} + q_{\text{т.с}}; \quad (14)$$

$$\rho_2^0 m_{2\text{см}} \frac{\partial \bar{v}_{2\text{см}}}{\partial t} = -m_{2\text{см}} \nabla p_{2\text{см}} - \frac{3m_{2\text{см}} (K^{-1})_2^{kk} \mu_2 (v_{2\text{см}}^1 - v_3^1)}{\Psi_2(\theta_{2\text{см}})} + \nabla (m_{2\text{см}} \sigma_{2\text{см}}). \quad (15)$$

Здесь $q_{\text{т.с}}$ – объемный расход жидкости в тонких прослойках (смачивающие пленки подпитываются водой тонких прослоек), кг/(м²·с);

$(K^{-1})_2^{kk}$ – след тензора, обратного тензору проницаемости 2-й фазы, м²;

μ – вязкость, Па·с;

$\sigma_{2\text{см}}$ – тензор напряжений жидкой фазы в смачивающих пленках, Па.

Математическая модель включает уравнения сохранения на межфазных поверхностях. На границе раздела «жидкость–пар» в общем случае следует учитывать неравновесность фазовых переходов, связанную с тем, что количество пара, испаряющегося с поверхности раздела фаз зависит от кинетических возможностей паровой фазы. Кинетика неравновесных фазовых переходов

описывается уравнением Герца–Кнудсена–Ленгмюра. Взаимосвязь между давлением и температурой вдоль линии насыщения определяется уравнением Клапейрона–Клаузиуса. Неравновесная схема фазовых переходов предполагает наличие скачка температур в граничном кнудсеновском слое пара [4].

Уравнение сохранения энергии в поверхностной Σ_{12} фазе без учета тепловой инерции этой фазы и влияния искривленности межфазных поверхностей на ее температуру представим в виде

$$s_{12}jL = \alpha_{1\Sigma_{12}}^h s_{12}(T_1 - T_1|_{\Sigma_{12}}) + \alpha_{2\Sigma_{12}}^h s_{12}(T_2 - T_2|_{\Sigma_{12}}). \quad (16)$$

Условия теплообмена на остальных поверхностях раздела фаз могут быть записаны в виде следующих балансовых соотношений:

$$s_{13}\alpha_{3\Sigma_{13}}^h (T_{\Sigma_{13}} - T_3) = -s_{13}\alpha_{1\Sigma_{13}}^h (T_{\Sigma_{13}} - T_1); \quad (17)$$

$$s_{23}\alpha_{3\Sigma_{23}}^h (T_{\Sigma_{23}} - T_3) = -s_{23}\alpha_{2\Sigma_{23}}^h (T_{\Sigma_{23}} - T_2). \quad (18)$$

Краевые условия на внешних границах бруска:

для пара

$$\begin{aligned} -\frac{\partial p_1}{\partial n}\Big|_{\Gamma} &= \beta_1^{\Gamma} (p_1|_{\Gamma} - p_c); \quad -\frac{\partial \chi}{\partial n}\Big|_{\Gamma} = \gamma_1^{\Gamma} (\chi|_{\Gamma} - \chi_c); \\ \alpha_1|_{\Gamma} &= 1 - \alpha_2|_{\Gamma} - \alpha_3|_{\Gamma}; \quad -\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial n}\Big|_{\Gamma} = \alpha_1^{\Gamma} (T_1|_{\Gamma} - T_c); \end{aligned} \quad (19)$$

для жидкости

$$\begin{aligned} v_2^1|_{\Gamma} &= 0; \quad v_2^2|_{\Gamma} = 0; \quad -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial n}\Big|_{\Gamma} = \alpha_2^{\Gamma} (T_2|_{\Gamma} - T_c); \\ \alpha_2|_{\Gamma} &= 0,01W(T_c, \varphi_c)\alpha_3\rho_3^{\circ}/\rho_2^{\circ}; \end{aligned} \quad (20)$$

для твердой фазы

$$-\lambda_3 \frac{\partial T_3}{\partial n}\Big|_{\Gamma} = \alpha_3^{\Gamma} (T_3|_{\Gamma} - T_c). \quad (21)$$

Здесь α_i^{Γ} – коэффициент теплоотдачи i -й фазы к окружающей среде, Вт/м²; $\beta_i^{\Gamma}, \gamma_i^{\Gamma}$ – коэффициенты массообмена i -й фазы с окружающей средой, м⁻¹.

Индекс «г» означает принадлежность к внешним границам древесного образца, «с» – к окружающей среде.

Начальные условия имеют следующий вид:

$$v_1^3 = 0; \quad \alpha_1 = \alpha_{10}; \quad \chi = \chi_0; \quad v_2^1 = 0; \quad v_2^2 = 0; \quad (22)$$

$$\alpha_2 = \alpha_{20}(x_1, x_2, x_3); \quad T_1 = T_2 = T_3 = T_0(x_1, x_2, x_3).$$

Поставленная начально-краевая задача (1)–(22) является нелинейной. Ее исследование выполнено с помощью численных методов. Проведена аппроксимация дифференциальной задачи разностной, разработан вычислительный алгоритм и соответствующий программный комплекс, что позволяет проводить вычислительный эксперимент по регулированию процесса сушки.

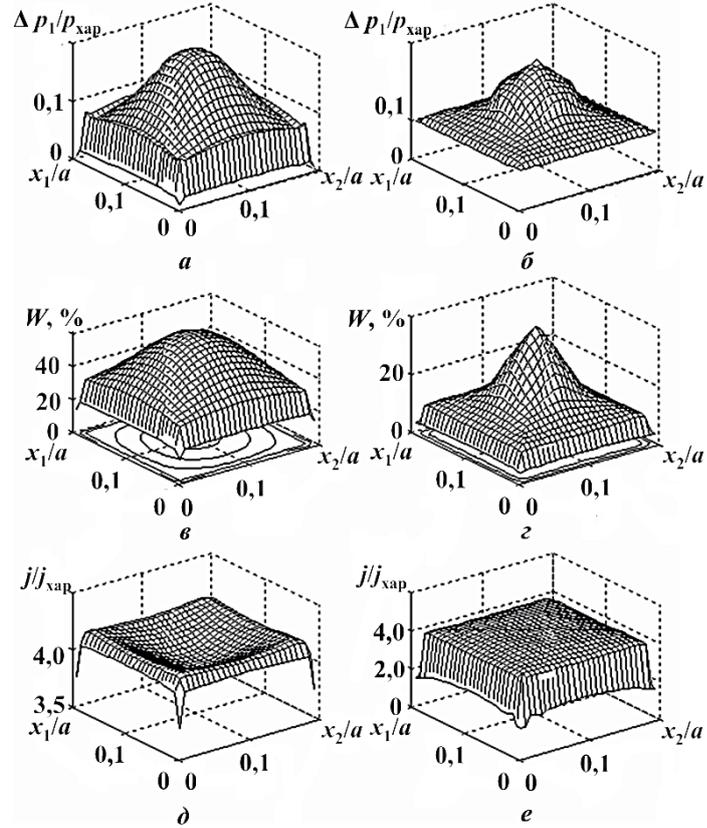


Рис. 2. Распределение в центральном поперечном сечении образца ($x_3/l_{\text{хар}} = 0,5$) избыточного давления в газообразной фазе $\Delta p = p_1 - p_c$ (а, б), влажности W (в, г) и интенсивности парообразования j (д, е) при сушке в моменты времени $t/t_{\text{хар}} = 0,1$ (а, в, д), $t/t_{\text{хар}} = 4,0$ (б, г, е) ($t_c = 120$ °С; температура мокрого термометра $t_m = 84$ °С; $\tau_{\text{хар}} \approx 15$ мин; $j_{\text{хар}} = \rho_2 l_{\text{хар}}/t_{\text{хар}}$; размеры образца $25 \times 25 \times 125$ мм)

Задаются параметры сушильного агента (температура, давление и относительная влажность), а также произвольные неоднородные начальные поля температуры и влажности в образце. Результат численного моделирования – детальное описание характера изменения во времени полей давления парогазовой смеси, концентрации пара, распределения влагосодержания, а также температуры отдельных фаз. Рис. 2 иллюстрирует некоторые возможности вычислительного комплекса.

Выводы

На основе методов механики гетерофазных систем разработаны теоретические основы расчета взаимосвязанного тепломассопереноса в коллоидных

капиллярно-пористых анизотропных материалах (на примере древесины). Проведенные расчеты свидетельствуют о возможности применения сформулированной математической модели для выбора эффективных режимов сушки древесины. Модель не ограничена конкретным способом сушки и может быть использована для натуральной и уплотненной древесины любых пород. Заметим, что построенная модель тепломассопереноса в трехфазной системе в предельном случае переходит к модели диффузионно-фильтрационного влаготеплопереноса академика А.В. Лыкова. При реализации процедуры предельного перехода удалось получить аналитические выражения для представляющих трудность в определении коэффициентов диффузии влаги и критерия фазовых переходов. Эти соотношения могут быть использованы для технологических расчетов сушки пиломатериалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гринчик Н.Н. Процессы переноса в пористых средах, электролитах и мембранах. Минск: АНК «Институт тепло- и массообмена» АН Беларуси, 1991. 251 с.
2. Дорняк О.Р. Гидродинамическая задача для процессов модифицирования древесины // Изв. СПб ЛТА. 2005. В. 172. С. 143–150.
3. Лыков А.В. Теория сушки. М.: Энергия, 1968. 471 с.
4. Нигматулин Р.И. Основы механики гетерогенных сред. М.: Наука, 1978. 336 с.
5. Павлюкевич Н.В. Введение в теорию тепло- и массопереноса в пористых средах. Минск: Ин-т тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАНБ, 2003. 140 с.
6. Сафин Р.Р., Хасанишин Р.Г., Сафин Р.Г. Математическая модель процесса конвективной сушки пиломатериалов в разряженной среде // Лесн. журн. 2006. № 4. С. 64–71. (Изв. высш. учеб. заведений).
7. Шубин Г.С. Сушка и тепловая обработка древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1990. 336 с.

Поступила 18.05.11

O.R. Dornyak

Voronezh State Academy of Forestry Engineering

Mathematical Modelling of Wood Drying Process

The article presents a mathematical model of thermal processes in wood as in a three-phase system taking into account a wide range of physical and structural factors.

Key words: wood, drying, mathematical modelling, heterophase environment

УДК 621.9.029:674.05

Е.А. Памфилов, С.В. Лукашов, Я.С. Прозоров

Брянская государственная инженерно-технологическая академия

Памфилов Евгений Анатольевич родился в 1941 г., окончил в 1964 г. Брянский институт транспортного машиностроения, доктор, профессор, зав. кафедрой оборудования лесного комплекса и технического сервиса Брянской государственной инженерно-технологической академии, засл. деятель науки РФ. Имеет более 400 печатных работ в области обеспечения долговечности машин и оборудования.
E-mail: pamfilov@bgita.ru



Лукашов Сергей Викторович родился в 1977 г., окончил в 1999 г. Брянский государственный педагогический университет, кандидат химических наук, доцент кафедры химии Брянской государственной инженерно-технологической академии. Имеет более 60 печатных работ.
E-mail: mail@bgita.ru



Прозоров Ярослав Сергеевич родился в 1983 г., окончил в 2007 г. Брянский государственный технический университет, аспирант, старший преподаватель кафедры оборудования лесного комплекса и технического сервиса. Имеет более 10 печатных работ.
E-mail: prozorov@bgita.ru



МОДЕЛЬ МЕХАНОХИМИЧЕСКОГО РАЗРУШЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУЖКИ

Рассмотрены особенности механизмов изнашивания функциональных поверхностей деталей оборудования для производства технологической стружки в зависимости от условий эксплуатации; исследованы механические, тепловые, химические и электрохимические явления при трении системы «металл – древесина».

Ключевые слова: механохимическое разрушение, коррозионно-механическое изнашивание, трибокоррозия, трибодеструкция, стружечный станок, хелаты, металлоорганические соединения, минеральные компоненты древесины.

Модернизация отечественной деревообрабатывающей промышленности предполагает более полное использование лесосырьевых ресурсов, достижение высокой энергоэффективности современных предприятий, выпуск высококачественной конкурентоспособной продукции.

В полной мере сказанное относится и к производству широко востребованных на рынке лесопродукции древесностружечных плит (ДСтП), при изготовлении которых эффективность производства во многом зависит от состояния оборудования и используемых инструментов. Поэтому обеспечение их высокой надежности приобретает особое значение.

© Памфилов Е.А., Лукашов С.В., Прозоров Я.С., 2012

Технико-экономические показатели производства ДСтП (расход древесного сырья и связующих, энергозатраты, качество производимой продукции и др.) в значительной мере формируются уже на стадии производства технологической стружки.

Для ее изготовления широко используются стружечные станки с ножевым валом, потеря работоспособного состояния которых связана с достижением предельного износа рабочих поверхностей ножевого вала и некоторых других деталей режущего узла. Важным является выбор износостойких материалов для их изготовления и эффективной технологии упрочнения изнашивающихся поверхностей.

Для успешного выполнения указанных условий необходимо выявление закономерностей изнашивания рассматриваемых функциональных поверхностей, на основании чего становится возможной разработка путей снижения износа.

Анализ основных физико-химических процессов для рассматриваемых узлов трения преобладающим признал коррозионно-механический вид изнашивания, или трибокоррозию [1,3,7]. Он представляет собой процесс поверхностного разрушения конструкционных и инструментальных материалов при совместном действии механических нагрузок и химических реакций внешней среды. Для трибокоррозии характерен эффект совместного влияния (синергизм) механических и химических явлений, результат проявления которых не может быть определен простым суммированием эффектов отдельных составляющих.

Механизм изнашивания рассматриваемых поверхностей может быть представлен как совокупность коррозионных процессов окисления (химического и электрохимического) и процессов разупрочнения, разрыхления и разрушения поверхностей трения с параллельно текущей газификацией поверхностных слоев.

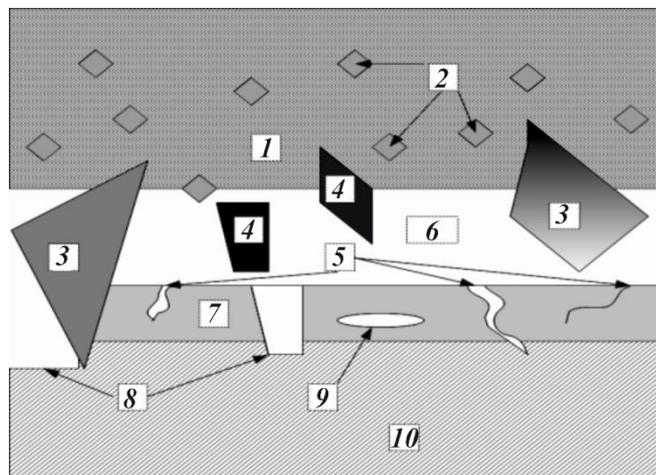
Разработанная нами схема контактного взаимодействия рабочих поверхностей ножевого вала и перерабатываемой древесины представлена на рис. 1.

Согласно этой схеме процесс изнашивания металлических поверхностей, фрикционно контактирующих с древесиной, включает в себя три основных этапа:

- образование слоев оксидов на рабочих поверхностях вала;
- механохимическое разрушение образовавшихся слоев;
- взаимодействие древесного сырья с образовавшейся ювенильной поверхностью металла и его репассивация.

На поверхности металла изначально находится слой оксидов, который образуется при взаимодействии металла с кислородом воздуха. Этот тонкий слой прочно связан с поверхностью металла и повторяет его топографию. Толщина оксидной пленки для железоуглеродистых сплавов составляет $10^{-7} \dots 10^{-8}$ м.

Рис. 1 Схематическое изображение фрикционного контакта поверхности ножевого вала и древесины: 1 – древесина; 2 – естественные абразивные частицы древесины; 3 – внешние абразивные частицы; 4 – диспергированные частицы материала вала; 5 – зоны коррозионного разрушения; 6 – агрессивная внешняя среда; 7 – оксидный слой; 8 – ювенильная поверхность металла; 9 – область молизаии водорода; 10 – исходный металл ножевого вала



Оксидная пленка состоит из вюстита FeO (оксид железа(II)), магнетита Fe_3O_4 и гематита Fe_2O_3 (оксид железа(III)). Непосредственно к металлу примыкает FeO , далее следуют Fe_3O_4 и Fe_2O_3 . Соотношение толщин оксидов $\text{FeO} : \text{Fe}_3\text{O}_4 : \text{Fe}_2\text{O}_3$ близко к 100:10:1 [8].

Свойства оксидов значительно отличаются от свойств металлической основы. Оксиды при стандартной температуре обычно твердые, хорошо сопротивляющиеся сжатию, однако они достаточно хрупкие, при повышении температуры их пластичность повышается.

Указанные оксиды имеют кристаллическое строение, они теплопроводны, являются электрическими изоляторами, а коэффициент их линейного расширения меньше, чем у самого металла. Пленки таких оксидов способны пассивировать и защищать поверхности рассматриваемых рабочих органов от поверхностного разрушения.

На втором этапе фрикционного контакта металла и древесины, в результате протекания сложного комплекса химических и механических воздействий, защитная пленка разрушается, что и обуславливает процесс изнашивания. Исследователями отмечено [7], что характер механохимического механизма изнашивания в значительной степени определяется условиями внешнего воздействия, при этом вклад химических факторов вполне сопоставим с ролью механических.

Кроме того, механизм изнашивания усугубляется тем, что при высоких давлении и температуре в зоне фрикционного взаимодействия древесина может разлагаться. В начале процесса разложения при температуре 100...150 °C испаряется свободная влага, происходит разложение гемицеллюлоз (275...300 °C) и распад древесного волокна (~400 °C), сопровождающийся выделением кислот, спиртов и смол [1, 3].

Поэтому, кроме оксидов, на контактирующих поверхностях формируются адсорбированные слои химических соединений, образовавшихся при

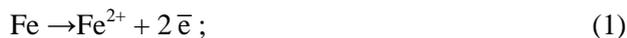
трибодеструкции древесины, в совокупности с полярными молекулами полимерных органических соединений, свободными радикалами и экстрактивными веществами. Согласно ряду исследований [1, 3, 9, 10, 12], среди разнообразных химических соединений, выделяющихся в процессе контакта стальной с древесиной, наибольшее влияние на характер и интенсивность изнашивания оказывают вода, карбоновые кислоты и полифенольные соединения.

Наличие воды в нужном количестве является основополагающим фактором для коррозионной реакции металла с древесиной. Относительная влажность древесного сырья, применяемого в стружечных станках, не должна быть менее 65 %, ее снижение приводит к ухудшению качества стружки. Известно, что при влажности древесины, превышающей 75 %, ее коррозионная активность резко возрастает [11]. Вода попадает на поверхность металла непосредственно из древесины в процессе контакта или конденсируется из паров, выделяющихся из нее, и активно адсорбируются поверхностными слоями металла.

В водном растворе всегда содержатся ионы H^+ и OH^- как продукты частичного распада воды, а также определенное количество кислорода O_2 . При контакте с таким раствором коррозия сплава на основе железа протекает в условиях образования микрогальванического элемента. Также необходимо отметить, что вал (или диск) и продукты деструкции древесины взаимодействуют в постоянно обтекающем их воздухе, поэтому в данном случае водный раствор всегда содержит достаточное количество растворенного кислорода.

Водный раствор, содержащий ионы H^+ и OH^- , а также растворенный O_2 и другие вещества, активизирует коррозию, которая может быть выражена уравнениями следующих процессов:

анодный



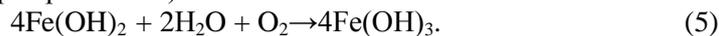
катодный с водородной деполяризацией



катодный с кислородной деполяризацией



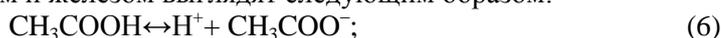
Гидроксид железа(II) – $Fe(OH)_2$ (белая ржавчина) образует на поверхности металла диффузионно-барьерный подслои, через который должен диффундировать кислород. На внешней поверхности оксидной пленки, доступной растворенному кислороду, гидроксид железа(II) окисляется в гидроксид железа(III) – $Fe(OH)_3$ (бурая ржавчина):



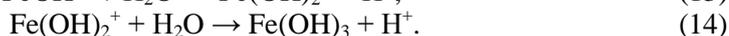
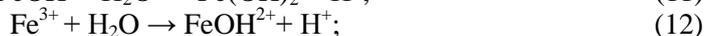
Пленки ржавчины, покрывающей металл рыхлым слоем, состоят из слоев гидроксидов железа, состав которых может быть выражен общей формулой $nFe(OH)_2 \cdot mFe(OH)_3 \cdot gH_2O$, где n , m , g – целые числа. Ржавчина

обладает плохим сцеплением с металлической поверхностью, плохо защищает ее от коррозии и легко удаляется при механических воздействиях непосредственно в процессе эксплуатации деревообрабатывающих станков.

Этот процесс усиливается коррозионным действием карбоновых кислот. Химическое взаимодействие металла с продуктами деструкции древесины интенсифицируется действием эксплуатационных локальных повышенных температур. Это связано с тем, что при увеличении температуры существенно возрастает скорость химических реакций, которые быстрее протекают в кислой, чем в щелочной или нейтральной средах. Отметим, что рН древесины умеренных широт, используемой для переработки, находится в интервале от слабокислого до умеренно кислого (рН 6,4 ... 3,3), наличие в составе перерабатываемого сырья коры дополнительно снижает кислотный потенциал. Поэтому образовавшиеся в процессе трибодеструкции древесины карбоновые кислоты (уксусная, муравьиная, пропионовая и некоторые другие) активно взаимодействуют с оксидной пленкой на поверхности вала, растворяя ее. Протекающие при этом реакции, например, уксусной кислоты с вюститом, магнетитом и железом выглядят следующим образом:



Образующиеся ионы Fe^{2+} и Fe^{3+} подвергаются гидролизу:



Кроме того, возрастание скорости коррозии металла по мере уменьшения рН обусловлено не только увеличением скорости выделения водорода, но и облегченным доступом кислорода к поверхности металла вследствие растворения поверхностного оксида и, следовательно, повышенной кислородной деполаризацией [6]. Катализаторами коррозионной активности могут быть сульфаты и хлориды, обнаруженные в достаточном количестве в составе минеральных компонентов древесины. Также возможно образование на поверхности ножевого вала микрогальванических пар между структурными составляющими инструментального материала, приводящее к межкристаллитной коррозии. В зоне фрикционного контакта «древесина–сталь» исследователями [1, 9] отмечены явления электризации поверхностей с образованием пьезо- и трибозарядов и последующими токами нейтрализации и искровыми микро-разрядами.

Высокую химическую активность при контакте с металлами проявляют и полифенолы (пирокатехин и пирогаллол) и их производные (главным образом таннины), которые в значительном количестве содержатся в древесине и коре ряда пород, хотя роль реакций железа с этими веществами в суммарном химическом износе значительно меньше кислотных реакций.

диссоциации различных веществ, но и в результате сложных химических реакций, в которых принимают участие компоненты древесины и продукты ее разложения (органические кислоты, углеводороды, спирты, альдегиды и др). Исследования пары трения «древесина–сталь» выявили следующий состав образовавшихся неконденсировавшихся газов, %: H_2 – 4,2...6,0; CH_4 – 2,0; CO – 70,0...72,0; CO_2 –20,0 [1].

Среди многочисленных теорий, объясняющих водородное изнашивание, можно выделить три, подтвержденных экспериментальными исследованиями: теория адсорбции, теория декогезии, теория внутреннего давления [1, 2].

Теория адсорбции связывает водородное изнашивание с понижением поверхностной энергии металла в результате адсорбции ионов водорода, образующихся при диссоциации кислот и в ходе реакций с продуктами деструкции древесины, и с уменьшением сил, необходимых для развития трещин. В этом случае водород действует как поверхностно-активное вещество, которое, адсорбируясь на поверхности микротрещин, в местах выхода на поверхность дислокаций, межфазовых границ, неупорядоченных образований и в других дефектах, особенно у острых вершин, существенно понижает механическую прочность твердых тел в процессе их деформации.

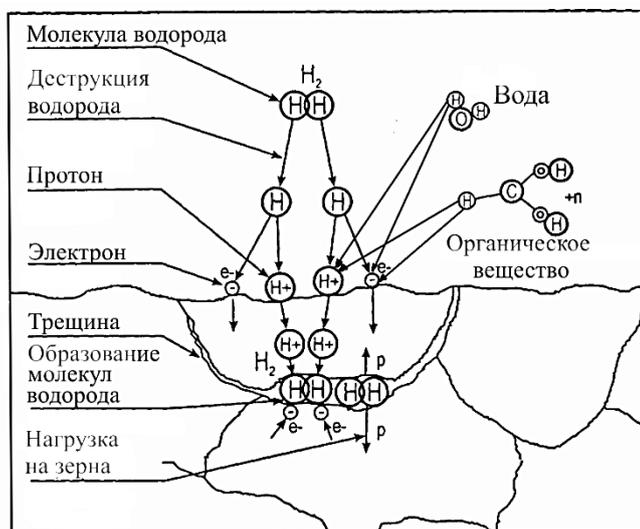
Теория декогезии предполагает, что растворенный водород при высоких концентрациях понижает максимальную силу когезии между атомами металла в кристаллической решетке, по границам зерен и в поверхностях. Разрушение связей происходит, когда локальное напряжение оказывается равным сниженной за счет водорода когезии.

Теория внутреннего давления объясняет механизм водородного изнашивания следующим образом. При достаточно большой концентрации водорода состояние насыщения решетки металла водородом достигается сравнительно быстро. Затем ионы водорода частично выходят из пересыщенной решетки стали в межзеренное пространство или на поверхности микротрещин, пустот, неметаллических включений, где при сравнительно невысокой температуре происходит молизация водорода (рис. 2). Вследствие этого в замкнутых местах выхода водорода создается высокое давление, приводящее к образованию напряженного состояния в решетке, деформации, нарушению сплошности металла, образованию трещин и расслаиванию [2].

Механическая составляющая износа во фрикционном контакте между древесным сырьем и металлическими поверхностями ножевого вала обусловлена рядом факторов.

Во-первых, попадание в зону контакта частиц минеральных компонентов из почвы с недостаточно очищенной обрабатываемой древесиной. Попадающие частицы почвы обладают зачастую высокой твердостью (в единицах по шкале Мооса): глинозем (оксид алюминия) – 9, кремнезем (диоксид кремния) – 7, что превышает твердость поверхности металла ножевого вала [4].

Рис. 2 Схема наводороживания стальных деталей при фрикционном контакте с древесиной



Во-вторых, попадание абразивных частиц в сопряжения станка из окружающей среды, например из воздуха, в 1 м^3 которого содержится от 0,04 до 5,00 г пыли, на 60...80 % состоящей из взвешенных частиц минералов (кварц, корунд, оксиды и диоксиды кремния, соединения алюминия, кальция и др.).

В-третьих, вовлечение диспергированных частиц износа в зону контакта. Частицы износа металлической поверхности ножевого вала в основном состоят из оксидов железа. При твердости функциональных поверхностей вала около 370 HV твердость вюстита составляет 320 HV, магнетита – 460 HV, гематита – 1030 HV[8].

В-четвертых, свой вклад вносят естественные минеральные компоненты древесины, в первую очередь кремнезем. Однако содержание неорганических включений (SiO_2 , K_2O , Na_2O , MgO , CaO и др.) в древесине умеренных широт, используемой для получения стружки, невысоко, поэтому их вклад в суммарный абразивный износ незначителен [9, 11].

Проведенный анализ закономерностей и уточнение возможных механизмов изнашивания ножевых валов стружечных станков позволяют определить подходы к обоснованию наиболее перспективных технологических методов упрочнения валов, сформулировать требования к выбору способов повышения износостойкости [5] и теоретически обосновать структурно-фазовый состав и физико-химические свойства поверхностного слоя ножевых валов, что позволит существенно повысить долговечность деревообрабатывающего оборудования и инструмента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зотов Г.А., Памфилов Е.А. Повышение стойкости дереворежущего инструмента. М.: Экология, 1991. 304 с.
2. Касаткин Г.Н. Водород в конструкционных сталях. М.: Интермет Инжиниринг, 2003. 336 с.

3. *Мусеев А.В.* Износостойкость дереворежущего инструмента. М.: Лесн. пром-сть, 1981. 112 с.
4. *Пенкин, Н.С. Пенкин А.Н., Сербин В.М.* Основы трибологии и триботехники: учеб. пособие. М: Машиностроение, 2008. 206 с.
5. *Пилушина Г.А., Памфилов Е.А.* Повышение работоспособности лесопильного оборудования // Лесн. журн. 2007. № 4. С. 85–91. (Изв. высш. учеб. заведений).
6. *Семенова И.В. Флорианович Г.М., Хорошилов А.В.* Коррозия и защита от коррозии. М.: Физматлит, 2002. 336 с.
7. *Сорокин Г.М. Ефремов А.П., Саакян Л.С.* Коррозионно-механическое изнашивание сталей и сплавов. М.: Нефть и газ, 2002. 424 с.
8. Трение и модифицирование материалов трибосистем / Ю.К. Машков, К.Н. Полещенко, С.Н. Поворознюк, П.В. Орлов. М.: Наука, 2000. 280 с.
9. *Klamecki B.E.* A Review of wood cutting tool wear literature // Электронная библиотека издательства «Springer». Режим доступа: <http://www.springerlink.com/content/v120741328777300/>
10. *Krilov A. Gref R.* Mechanism of sawblade corrosion by polyphenolic compounds // Электронная библиотека издательства «Springer». Режим доступа: <http://www.springerlink.com/content/n15418jl82377147/>
11. *Porankiewicz B. Sandak J., Tanaka C.* Factors influencing steel tool wear when milling wood // Wood Science & Technology. 2005 N 39(3). P. 225–234.
12. *Zelinka, S.L., Stone D.S.* The effect of tannins and pH on the corrosion of steel in wood extracts // Электронная библиотека издательства «Wiley». Режим доступа: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/maco.201005845/>

Поступила 30.05.11

E.A. Pamfilov, S.V. Lukashov, Ya.S. Prozorov
Bryansk State Engineering and Technological Academy

Model of Mechanochemical Destruction of Chip Producing Equipment Parts

Peculiarities of wear mechanisms of functional surfaces of equipment parts for chip production depending on operating conditions have been studied; mechanical, thermal, chemical and electrochemical phenomena in friction of the "metal - wood" system have been investigated.

Key words: mechanochemical destruction, corrosion-mechanical wear, tribocorrosion, tribodestruction, flaker, chelates, organometallic compounds, mineral components of wood.



ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 66.063.62

***В.С. Куров, Н.П. Мидуков, А.О. Никифоров, М.В. Коваленко,
Ю.Г. Мандре, Э.Л. Аким***

Санкт-Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров

Куров Виктор Сергеевич родился в 1953 г., окончил в 1976 г. Ленинградский государственный технологический институт целлюлозно-бумажной промышленности, доктор технических наук, профессор, действительный член РАЕН, проректор по научной работе С.-Петербургского государственного технологического университета растительных полимеров. Имеет более 180 печатных работ в области исследования нестационарных гидромеханических процессов и реологии водоволокнистых суспензий целлюлозно-бумажной промышленности.
E-mail: VSKurov@inbox.ru



Мидуков Николай Петрович родился в 1983 г., окончил в 2005 г. С.-Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров, доцент кафедры процессов и аппаратов химической технологии СПбГТУРП. Имеет 15 печатных работ в области технологии и оборудования химической переработки биомассы дерева.
Тел.: 8(812)746 53 47



Никифоров Аркадий Олегович родился в 1954 г., окончил в 1976 г. Ленинградский технологический институт им. Ленсовета, кандидат технических наук, доцент кафедры процессов и аппаратов химической технологии С.-Петербургского государственного технологического университета растительных полимеров. Имеет более 90 печатных работ в области процессов и аппаратов химической технологии.
Тел.: 8 (812)349 23 00



Коваленко Марина Викторовна окончила в 1994 г. С.-Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии целлюлозы и композиционных материалов СПбГТУРП. Имеет более 40 печатных трудов в области технологии целлюлозно-бумажного производства и тароупаковочных материалов.
E-mail: marina_kov@mail.ru



© Куров В.С., Мидуков Н.П., Никифоров А.О., Коваленко М.В., Мандре Ю.Г., Аким Э.Л., 2012

Мандре Юрий Георгиевич родился в 1955 г., окончил в 1977 г. Пермский политехнический институт, кандидат технических наук, профессор кафедры технологии целлюлозы и композиционных материалов СПбГТУРП. Имеет более 20 печатных трудов в области технологии целлюлозно-бумажного производств.

Тел./факс: 8(812) 786 53 23



Аким Эдуард Львович родился в 1936 г., окончил в 1956 г. Ленинградский технологический институт целлюлозно-бумажной промышленности, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой технологии целлюлозы и композиционных материалов СПбГТУРП. Имеет более 500 печатных трудов в области технологии целлюлозно-бумажного производства и химии древесины.

E-mail: akim-ed@mail.ru



УСТАНОВКА ДЛЯ ЭКСТРАКЦИИ АРАБИНОГАЛАКТАНА ИЗ ДРЕВЕСИНЫ ЛИСТВЕННИЦЫ НА БАЗЕ РОТОРНО-ПУЛЬСАЦИОННОГО АППАРАТА*

Представлена история формирования научной школы по экстракции и диспергированию различных систем в роторно-пульсационных аппаратах, приводятся оптимальные условия экстракции арабиногалактана, дано описание принципиально новой установки на базе роторно-пульсационного аппарата для проведения процессов диспергирования и экстракции из волокнистых материалов, в том числе и арабиногалактана из древесины лиственницы. Представлены экспериментальные результаты, иллюстрирующие преимущество использования данной установки и аппарата.

Ключевые слова: проект лиственница, лиственница, экстракция, арабиногалактан, роторно-пульсационный аппарат, эффективность экстракции.

Лиственницы даурская (*Larix dahurica* Turcz.) и сибирская (*Larix Sibirica* Ldb) являются наиболее распространенными древесными породами Восточной Сибири и Дальнего Востока. Они занимают особое место в лесосырьевой базе предприятий Российской Федерации, прежде всего Братского и Усть-Илимского ЛПК.

* Проект «Лиственница» осуществляется при финансовой поддержке Минобрнауки России. Проект «Разработка инновационной технологии комплексной переработки древесины лиственницы (с выводом на мировые рынки нового вида товарной целлюлозы)» вышел победителем открытого публичного конкурса по отбору организаций на право получения субсидий на реализацию комплексных проектов по созданию высокотехнологичного производства в целях государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций реального сектора экономики (Постановление Правительства РФ № 218 от 09.04.2010 г.) Инициатор проекта – ОАО «Группа «Илим». Партнер по комплексному проекту создания высокотехнологичного производства – С.-Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров.

Фундаментальные исследования древесины лиственницы, ее состава и особенностей применения в ЦБП были проведены Н.И. Никитиным и его учениками [3, 4, 18, 25, 26]. В дальнейшем работы в данной области были продолжены в ЛТА, ЛТИ ЦБП (СПбГТУРП), ВНИИБ, СибНИИЦК, ЦНИИЛХ и др. [2–4, 11, 20, 21, 25, 26].

Использование древесины лиственницы в ЦБП ограничено особенностями ее физико-химических свойств. Она характеризуется высокой плотностью и значительным содержанием (от 5 до 30 %) водорастворимых веществ, прежде всего гидрофильного полисахарида – арабиногалактана (ранее называвшегося арабогалактаном).

Арабиногалактан (АГ) применяется в медицине, косметической и пищевой промышленности благодаря своим иммуномодулирующим, гастропротективным, антимикробным и пребиотическим свойствам.

Процесс водной экстракции арабиногалактана из древесины лиственницы достаточно широко изучен, однако большинство исследователей проводили экстракцию в громоздкой металлоемкой аппаратуре периодического действия (аппараты с мешалкой, автоклавы и диффузоры) при непрерывной подаче экстрагента. Технология выделения АГ и флавоноидов (дигидрокверцетин – ДКВ и др.) из низкотемпературных предгидролизатов лиственницы была разработана в ЦНИЛХИ, Иркутском госуниверситете, СибНИИЦК, ЛТА, НПО «Полимерсинтез» и др. Опытная установка для получения АГ и ДКВ из древесины лиственницы была создана в 1989 г. в ЦНИЛХИ [20].

Исследования по извлечению веществ из пористых тел в многофазных системах в поле механических колебаний, начавшиеся еще более 50 лет назад в ЛТИ ЦБП на кафедре процессов и аппаратов химической технологии под руководством профессора А.М. Гинстлинга [5, 8, 9], показали, что проведение процесса экстракции водорастворимых веществ из растительного сырья в поле механических колебаний позволяет уменьшить время экстракции на 1-2 порядка по сравнению с известными способами и достичь практически полного извлечения экстрактивных веществ [5, 7–10, 14]. Результаты последующих исследований гидродинамических закономерностей работы аппаратов роторно-пульсационного типа были использованы для расчетов процессов диспергирования и экстракции в системе жидкость–твердое тело [7, 13–15, 19, 23, 24].

Метод предварительной экстракции древесины лиственницы в поле механических колебаний был разработан в проблемной лаборатории ЛТИ ЦБП [25]. Для определения оптимальных условий экстракции лиственницы изучалось влияние основных факторов (ширина прорезей в цилиндрах роторно-пульсационного аппарата (РПА), зазор между ротором и статором, кратность обработок и др.) Были установлены оптимальные параметры процесса, при использовании которых была получена целлюлоза с наиболее высокими механическими показателями [10].

Следует отметить, что в настоящее время РПА успешно применяются в ряде отраслей промышленности, в частности для обработки растворов и дисперсий полисахаридов в текстильной промышленности [12].

За прошедшие десятилетия в ЛТИ ЦБП–СПбГТУРП сформировалась научная школа по экстрагированию и диспергированию различных систем в РПА [1, 5–10, 13–16, 19, 22–24].

На основании анализа этих работ создана установка (рис. 1) и РПА (рис. 2) для проведения процессов диспергирования и экстракции из волокнистых материалов, в том числе и арабиногалактана из древесины лиственницы [22, 24]. Значительно позднее аналогичная установка была представлена в работе [27], причем выводы, полученные авторами данной статьи, требуют уточнений. Известно, что в процессе экстракции водорастворимых веществ из древесины лиственницы в поле механических колебаний определяющую роль играет механизм молярного переноса вещества [14]. Установлено, что процесс экстракции в прорезях ротора протекает эффективнее, чем в прорезях статора, что связано с различием микроструктуры потоков в этих зонах и соответственно с различием градиентов давления в них. Эти факты были учтены нами при конструировании установки для извлечения водорастворимых веществ из древесины лиственницы. Конструктивные параметры промышленного РПА для извлечения водорастворимых веществ из древесины лиственницы запатентованы [22].

Для определения времени извлечения водорастворимых веществ под действием разности давлений использовано пульсирующее динамическое давление, рассчитанное на базе теории свободной турбулентности с применением функции комплексного переменного. Эта методика расчета, разработанная на кафедре процессов и аппаратов химической технологии СПбГТУРП, учитывает влияние всех основных конструктивных параметров РПА, а также скорости течения в зазоре между ротором и статором и расхода среды через аппарат. Результаты расчета продолжительности экстракции по этой методике согласуются с экспериментальными данными, полученными другими исследователями.

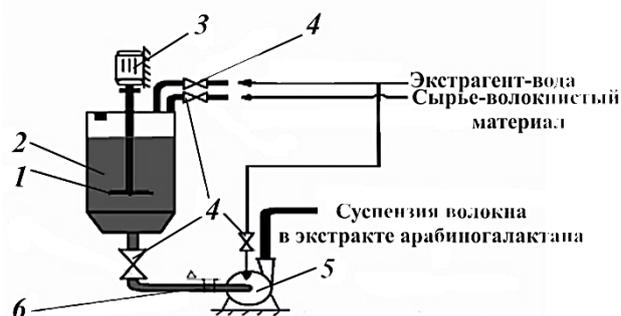


Рис. 1. Установка для экстракции арабиногалактана из древесины лиственницы на базе роторно-пульсационного аппарата: 1 – мешалка; 2 – емкость; 3 – привод; 4 – вентили; 5 – роторно-пульсационный аппарат; 6 – подвижное соединение трубопровода

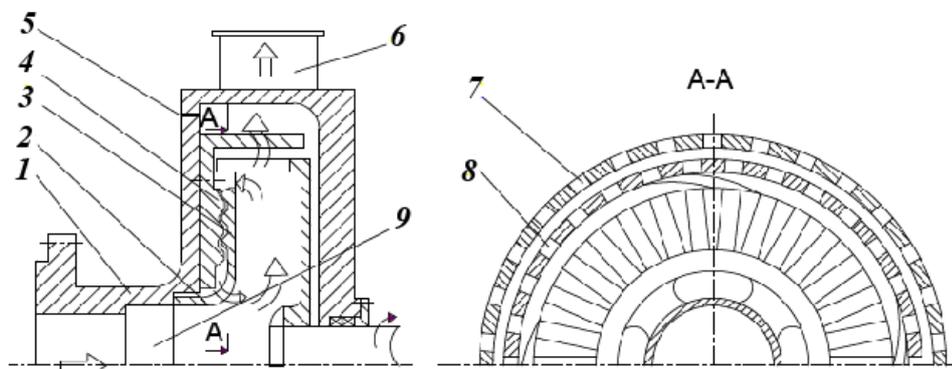


Рис. 2. Роторно-пульсационный аппарат для проведения экстракции арабиногалактана из древесины лиственницы: 1 – корпус; 2 – ротор; 3, 4 – рифления ротора и статора; 5 – устройство для изменения зазора между рифлениями ротора и статора; 6, 9 – входной и выходные патрубки 7, 8 – прорези ротора и статора

Таким образом, предложенная нами промышленная установка для извлечения экстрактивных веществ из древесины лиственницы [27] позволяет уменьшить продолжительность экстракции на порядок по сравнению с пилотной (рис. 3) [27]. Согласно проведенному патентному поиску, предложенные установка и аппарат являются наиболее простым и доступным решением задачи эффективной экстракции водорастворимых веществ из волокнистых материалов, в том числе и арабиногалактана из древесины лиственницы. Для исследовательских задач была создана лабораторная установка, позволяющая осуществлять экстракцию в широком диапазоне технологических параметров.

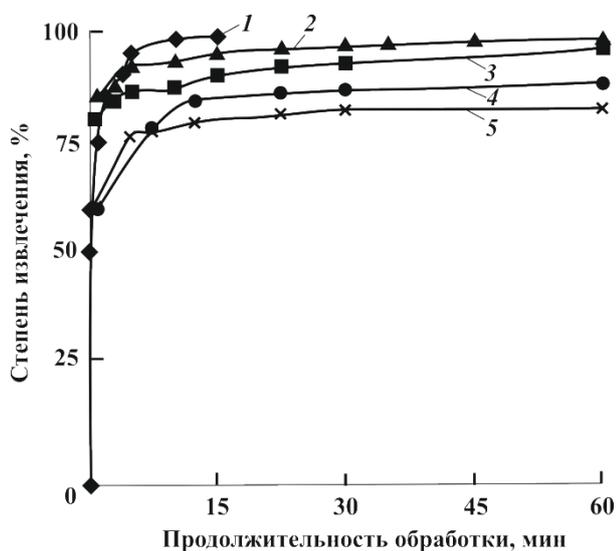


Рис. 3. Зависимость степени извлечения арабиногалактана от продолжительности обработки: 1 – результаты экстракции в установке по патенту [24]; 2–5 – в пилотной установке

В заключении необходимо отметить, что экстракция водорастворимых компонентов древесины лиственницы в РПА при ее комплексной переработке наиболее перспективна для опилочной фракции. По данным ФАО ООН/ЕЭК ООН [28] при переработке хвойных пород образуется 8...12 % опилок. Эти данные, относящиеся к Канаде и Скандинавским странам, могут быть распространены и на лиственницу, в связи с этим опилки лиственницы являются весьма перспективным сырьем при наличии крупнотоннажных потребителей продуктов экстракции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аким Э.Л.* Взаимодействие целлюлозы и других полисахаридов с водными системами // Научные основы химической технологии углеводов / Отв. ред. А.Г. Захаров. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. С. 265–348.
2. *Антонова Г.Ф., Тюкавкина Н.А.* Водорастворимые вещества лиственницы и возможности их использования // Химия древесины. 1983. № 2. С. 89–96.
3. *Антоновский С.Д., Кулакова В.Н., Чочиева А.Ф.* Получение и переработка водорастворимых гемицеллюлоз древесины лиственницы // Химия древесины. 1971. № 8. С. 147–153.
4. *Антоновский С.Д., Чочиева М.М., Агишева Т.И.* О химическом составе и физико-химических свойствах водорастворимых гемицеллюлоз древесины лиственницы // Химия древесины. 1971. № 8. С.141–146.
5. А.с. СССР 127999. Ротационный аппарат для взаимодействия жидкости с жидкостью, газом или порошковым телом / Барам А.А., Гинстлинг А.М. Оpubл. 1960. Бюл. № 9.
6. А.с. СССР 1608280. Способ получения многослойного картона / Амосов В.А., Аким Э.Л., Никольский О.Н., Савва В.К., Кальянов И.В., Рябченко С.В., Зайонц Е.Г., Бутко Г.Ю., Фрейдкин М.Б. (СССР). Оpubл. 23.11.90. Бюл. № 43.
7. *Балабудкин М.А.* Исследование диспергирования и гидродинамических явлений в роторно-пульсационных аппаратах: автореф. ... канд. техн. наук. Л., 1969. 16 с.
8. *Барам А.А.* Исследование процесса извлечения веществ из пористых тел в многофазных системах в поле механических колебаний: автореф. ... канд. техн. наук. Л., 1963. 14 с.
9. *Гинстлинг А.М., Барам А.А.* Ультразвук в процессах химической технологии. Л.: Госхимиздат, 1960. 75 с.
10. Исследование возможности применения полуфабрикатов из экстрагированной древесины лиственницы для производства картона и бумаги / Б.Н. Моисеев [и др.] // Химия и технология целлюлозы. 1978. № 5. С. 87–90.
11. *Кислицын А.Н., Жукова И.П., Пузанова В.Ю.* Технология переработки низкотемпературных предгидролизатов лиственницы // Гидролиз. и лесохим. пром-сть. 1992. № 3. С. 17–19.
12. *Липатова И.М., Морыганов А.П.* Механоиницируемые структурные и химические превращения в растворах и жидких дисперсиях полисахаридов // Научные основы химической технологии углеводов / Отв. ред. А.Г. Захаров. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. С. 349–399.

13. Лошакова О.А. Исследование гидродинамических закономерностей работы аппаратов роторно-пульсационного типа: автореф. ... канд. техн. наук. Л., 1981. 18 с.
14. Любанский Б.П. Исследование процесса экстракции водорастворимых веществ из древесины лиственницы в поле механических колебаний: автореф. ... канд. техн. наук. Л., 1978. 18 с.
15. Мидуков Н.П., Куров В.С., Никифоров А.О. Повышение эффективности процесса диспергирования волокнистой суспензии в роторно-пульсационном аппарате // Лесн. журн. 2008. № 4. С. 116–119. (Изв. высш. учеб. заведений).
16. Мидуков Н.П., Никифоров А.О., Куров В.С. Диспергирование волокнистой суспензии в роторно-пульсационном аппарате // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2010. № 2. С. 62–65.
17. Мидуков Н.П. Повышение эффективности процесса диспергирования многофазных систем целлюлозно-бумажного производства в роторно-пульсационном аппарате: автореф. ... канд. техн. наук. СПб., 2009. 16 с.
18. Никитин Н.И. Химия древесины и целлюлозы. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 711 с.
19. Никифоров А.О. Разработка аппарата роторно-статорного типа для эмульгирования и перекачивания проклеивающих составов: автореф. ... канд. техн. наук. Л., 1984. 16 с.
20. Опытная установка по переработке низкотемпературного предгидролизата лиственницы / А.Н. Кислицын [и др.] // Гидролиз. и лесохим. пром-сть. 1993. № 1. С. 11–13.
21. Очистка низкотемпературного предгидролизата лиственницы / А.Н. Кислицын [и др.] // Гидролиз. и лесохим. пром-сть. 1993. № 2. С. 11–12.
22. Пат. 70154. Роторно-пульсационный аппарат / Мидуков Н.П., Никифоров А.О., Куров В.С. Оpubл. 20.01.08. Бюл. № 2.
23. Пат. 2135254. Способ экстракции растительного сырья / Барам А.А., Куров В.С., Полевченко И.В., Рощин В.И. Оpubл. 09.04.98. Бюл. № 24.
24. Пат. 2410148. Установка для приготовления волокнистой суспензии с наполнителем / Мидуков Н.П., Никифоров А.О., Куров В.С. Оpubл. 27.01.2010. Бюл. № 3.
25. Получение из лиственницы целлюлозы высокого качества / Н.И. Никитин [и др.] // Бум. пром-сть. 1970. № 8. С. 3–5.
26. Школьников Е.В., Ананьева Г.Ф., Мальцева Г.Н. Кинетика выделения водорастворимых веществ из коры ели и сосны при водной и серно-кислотной обработке // Лесн. журн. 1996. № 1-2. С. 186–194. (Изв. высш. учеб. заведений).
27. Экстракция арабиногалактана из опилок лиственницы сибирской в аппарате роторно-пульсационного типа / М. С. Василишин и [и др.] // Ползуновский вестник. 2010. № 4. С. 168–173.
28. Forest Products Conversion Factors for the UNECE Region // United Nations Economic Commission for Europe. Food and Agriculture Organization of the United Nations. UNITED NATIONS, Geneva, 2010. 38 p.

Поступила 26.09.11

V.S. Kurov, N.P. Midukov, A.O. Nikiforov, M.V. Kovalenko, Yu.G. Mandre, E.L. Akim
Saint Petersburg State Technological University of Plant Polymers

**Device for Extracting Arabinogalactan from Larch Wood on the Basis
of Rotor-Pulsation Appliance**

The article presents the optimum conditions for arabinogalactan extraction, describes a fundamentally new device based on a rotor-pulsation appliance for dispersion and extraction from fibrous materials, including arabinogalactan from larch wood. Experimental results illustrating advantages of using this equipment are presented.

Key words: larch project, larch, extraction, arabinogalactan, rotor-pulsation appliance, extraction efficiency.

УДК 630*866.5.002.33

**В.П. Короткий¹, В.И. Великанов², Н.И. Богданович³, В.И. Роцин⁴,
И.Ф. Водопьянов², И.В. Чечет⁵**

¹НТЦ «Химинвест»

²Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия

³Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

⁴Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет

⁵Аптечные сети г. Н. Новгород

Короткий Василий Павлович родился в 1954 г., окончил в 1976 г. лесотехнический факультет, в 1981 г. инженерно-экономический факультет Ленинградской лесотехнической академии, чл.-кор. МАНЭБ, директор НТЦ «Химинвест». Имеет более 50 печатных работ в области лесохимии, пиролиза древесины, получения активных древесных углей, угольных кормовых добавок, карбонизации, парогазовой активации, адсорбции.
E-mail: himinvest@sandy.ru



Великанов Валериан Иванович родился в 1947 г., окончил в 1975 г. Казанский ветеринарный институт, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой анатомии сельскохозяйственных животных Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии, академик Российской и международной академии аграрного образования. Имеет более 350 печатных работ в области радиационной биологии, фармакологии и токсикологии, иммунофармакологии, иммунотоксикологии.
E-mail: radiobiolog1@mail.ru



Богданович Николай Иванович родился в 1943 г., окончил в 1969 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой лесохимических производств Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, засл. работник высшей школы РФ. Имеет более 340 печатных трудов в области изучения пиролиза древесины и отходов ее химической и механической переработки с получением адсорбентов для очистки сточных вод и газовых выбросов, а также адсорбционных методов очистки сточных вод и переработки осадков.
E-mail: lesochim@agtu.ru



Роцин Виктор Иванович родился в 1945 г., окончил в 1972 г. Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат химических наук, доцент кафедры технологии лесохимических производств и биологически активных веществ С.-Петербургского государственного лесотехнического университета. Имеет более 130 печатных работ в области изучения состава соединений экстрактивных веществ биомассы дерева и их биологической активности, теории и технологии получения продуктов на основе экстрактивных веществ.
Тел.: (812) 904 35 03



© Короткий В.П., Великанов В.И., Богданович Н.И., Роцин В.И., Водопьянов И.Ф., Чечет И.В., 2012

Водопьянов Иван Федорович родился в 1982 г., окончил в 2004 г. Нижегородскую государственную сельскохозяйственную академию, кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры анатомии сельскохозяйственных животных Ниж ГСХА. Имеет более 10 печатных работ в области ветеринарной хирургии, фармакологии и токсикологии.

Тел.: (831) 466 94 81



Чечет Инна Валериановна окончила в 2000 г. Пермскую государственную фармацевтическую академию, кандидат биологических наук, научный консультант аптечных сетей г. Н. Новгорода. Имеет более 15 печатных работ в области клинической фармакологии и биохимии.

Тел.: (831) 460 87 08



РАЗРАБОТКА НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПОЛУЧЕНИЯ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ФОРМ ДЛЯ ВЕТЕРИНАРНОЙ МЕДИЦИНЫ НА ОСНОВЕ ЖИВИЦЫ СОСНОВОЙ

Установлено, что живица сосновая в сочетании с другими препаратами, выделенными из биомассы дерева, обладает заживляющим действием при нанесении на раневые поражения кожи животных

Ключевые слова: живица сосновая, ветеринария, мази заживляющие, паста хвойная хлорофилло-каротиновая (ПХХК), препарат «Сибиол», воск хвойный.

Живица сосновая – продукт жизнедеятельности деревьев сосны, образующийся в процессе биосинтеза. Биологическая роль ее в живом дереве определяется как защитная и заключается в предохранении срезов тканей дерева от высыхания и проникновения в них грибков, бактерий и насекомых. Живица сосновая является натуральным смолистым веществом и благодаря своим свойствам обладает лечебным заживляющим действием [10].

На основании уникальных качеств она все шире находит применение в качестве составляющих компонентов различных лечебных препаратов [6, 10]. Для внутреннего рынка России требуется примерно 300 т лечебных мазей для ветеринарии в год. Потребности в этом продукте удовлетворяются в основном за счет импорта лечебных препаратов.

Данная работа направлена на создание более эффективных лекарств для ветеринарии, принципиально новой технологии производства лекарственных форм на основе живицы сосновой и других природных соединений биомассы дерева. Кроме живицы, в состав новых лекарственных препаратов входят «Силбиол» – паста хвойная хлорофилло-каротиновая (ПХХК), обладающая защитными функциями клеток растения; хвойный воск; эмульгатор.

Исследование химического состава живицы сосновой показывает, что содержание смолистых веществ в ней в зависимости от внешних условий изменяется незначительно; содержание влаги зависит от количества дождевых осадков, выпавших в период сбора живицы. Живица сосновая, добытая в начале сезона, имеет более высокое содержание скипидара – терпеновых углеводородов, которые являются предшественниками каротиноидов, фитостеролов, некоторых

растительных гормонов и могут участвовать в обмене веществ как источники энергии при отсутствии других энергетических ресурсов. Поэтому для изготовления противовоспалительного ветеринарного бальзама (линимента) предпочтительно использовать свежую живицу, добытую в начале сезона подсочки.

ПХХК состоит из экстрактивных веществ хвои, растворимых в углеводородном экстрагенте (неполярные растворители: нефрас, бензин «Галоша», гексан) с последующим омылением NaOH до pH – 8,0...9,0 для придания водорастворимых свойств. ПХХК благодаря наличию в своем составе природных соединений, стимулирующих репарацию пораженных участков, мощных антиоксидантов (токоферолы, провитамин А, витамины группы К, хлорофилл и его производные, полипрепопы, эфиры стеролов и высших жирных кислот), терпеноидов, обладающих фитонцидным и антисептическим действием, монотерпенов, сексвитерпенов, дитерпенов и их кислородсодержащих производных, очищает рану от некротических заболеваний, обладает противовоспалительным действием, защищает от внешних патогенных организмов, стимулирует репарационные процессы.

«Силбиол» и живица сосновая придают антисептические свойства линименту, хорошо совмещаются с хвойным воском и после нанесения на рану и подсыхания образуют антисептическую пленку.

Воск хвойный представляет собой смесь эфиров жирных кислот и свободных жирных (C_{12} – C_{20}) и смоляных ($C_{20}H_{30}O_2$) кислот. Содержание неомыляемых веществ в воске составляет 9...12 %. Воск хвойный придает прилипательность к коже и ворсу (шерсти, щетине и т.п.), образует тонкий защитный слой на поверхности раны (ожога), обуславливает устойчивость к атмосферным осадкам, пропускает для воздуха.

Добавка эмульгатора (ОП-7, ОП-10, ГВИН-80) от 5 до 15 % позволяет получить препарат типа «масло в воде» однородной консистенции.

Экспериментально-клинические и лабораторные исследования по изучению влияния противовоспалительного ветеринарного бальзама на заживление экспериментальных инфицированных ран у лабораторных животных (крыс) проведены в лаборатории кафедры анатомии, фармакологии с токсикологией и кафедры микробиологии, вирусологии и биотехнологии ФГОУ ВПО «Нижегородская ГСХА».

Материалом исследований служили белые беспородные крысы (самцы) в возрасте 4...5 мес. средней массой тела на начало эксперимента 241,5...251,5 г. Всего в опыте находилось 12 крыс. Группу животных подбирали по принципу аналогов, использовали животных одного помета и приблизительно одинакового веса. Крыс с подозрением на наличие спонтанных заболеваний после оценки внешнего вида и общего состояния выбраковывали.

Для моделирования процесса животным на фоне хлороформного наркоза наносили резаные раны, затем в полость раны вводили марлевые салфетки с инфицирующим агентом [2]. Всех раненых животных разделяли на две

группы: 1 – опытная, 2 – контрольная. Кроме того, была выделена группа интактных животных. При появлении признаков гнойного воспаления (через сутки после нанесения ран) кожные швы удаляли, извлекали марлевые салфетки и начинали лечение раненых животных опытной группы, животных контрольной группы не лечили. Лечение заключалось в нанесении на поверхность раны противовоспалительного ветеринарного бальзама.

В течение всего срока заживления ран за крысами вели ежедневное клиническое наблюдение, оценивали их общее состояние, габитус, наличие и характер отека, гиперемии, болезненности в области нанесения экспериментальных ран, следили за развитием грануляций и эпителизацией ран.

Исследование крови у всех групп животных выполняли до нанесения ран, затем через 3, 7 и 14 сут. после начала лечения. Кровь у животных забирали из кончика хвоста в пробирки с антикоагулянтом (10 %-й цитрат натрия из расчета 2-3 капли на 1 мл). Цельную кровь использовали для подсчета количества эритроцитов, лейкоцитов и тромбоцитов в камере Горяева обычным методом [3] и определения концентрации гемоглобина гемоглобинцианидным методом, а также для выведения лейкограммы в мазках, окрашенных по Филликсу [4]. Для качественного и количественного изучения раневой микрофлоры проводили бактериологические и цитологические исследования. С этой целью до введения и после извлечения марлевых салфеток, а также через 3 и 7 сут. брали мазки из ран стерильными палочками с ватным тампоном и опускали в пробирки со стерильным изотоническим раствором хлорида натрия.

Для определения обсемененности ран пробирки прогревали на водяной бане при 38 °С, после чего из пробирок делали высевы по 0,1 мл на чашку Петри с мясопептонным агаром (МПА). После суточной экспозиции чашек в термостате (при температуре 37 °С) подсчитывали колонии бактерий. После дальнейшего культивирования микроорганизмы типировали и определяли их антибиотикочувствительность как показатель патогенности. До лечения и в ходе заживления с поверхности ран готовили мазки-отпечатки по методу Покровской и Макарова [8], которые фиксировали в жидкости Карнуа, окрашивали метиленовой синькой по Романовскому–Гимза в модификации Лилли [5], на гликоген ШИК – реакцией по Мак-Манусу с докраской эсдергематеином Майера, на нуклеиновые кислоты – галлоцианин-хромовыми квасцами по Эйнарсону [7]. Для оценки скорости заживления экспериментальных кожно-мышечных ран регулярно проводили морфометрию [9].

Для гистологических исследований брали образцы тканей через 3, 7, 14 и 21 сут. после нанесения ран. Для этого на границе раны иссекали кусочки тканей с захватом здоровой кожи, края и дна раны. Образцы тканей фиксировали в 10 %-м растворе нейтрального формалина. Заливку в парафин проводили по обычной схеме после проводки в водных растворах этанола возрастающей крепости. Срезы готовили на ротационном микротоме. Серийные парафиновые срезы толщиной 7...8 мкм окрашивали гематоксилином – эозином и по Вангизону [5]. Готовые препараты изучали под микроскопом «Биолан-М».

Результаты опытов приведены в единицах СИ. Полученный материал статистически обрабатывали с использованием программы «Statistika-5», которая является интегрированной системой комплексного статистического анализа и обработки данных в среде Windows [1].

Результаты исследований показали, что в первое время после нанесения ран у всех участвовавших в эксперименте животных наблюдались одинаковые общие реакции. Стабилизация общего состояния и возвращение его в норму с восстановлением двигательной активности, аппетита, центральных рефлексов у животных разных групп отмечались в разные сроки. Так, у животных группы 1 общее улучшение (состояние) наблюдалось через 2–4 дня, у животных группы 2 подобные изменения задерживались в среднем на 3–4 дня.

До начала опыта живая масса всех животных находилась примерно на одном уровне (табл. 1).

Таблица 1

Колебания живой массы (г) крыс разных групп во время опытов

Срок исследований	Группа 1	Группа 2 (контроль)	Группа интактных животных
До начала опытов	246,9 ± 4,5	245,0 ± 3,9	248,5 ± 2,8
На 3-й день	230,4 ± 3,5	229,1 ± 4,9	262,5 ± 3,0
На 7-й день	259,5 ± 3,1	248,1 ± 4,1	283,4 ± 2,9
На 14-й день	262,9 ± 3,5	258,2 ± 3,9	291,3 ± 2,5
На 21-й день	278,9 ± 3,1	271 ± 3,4	297,3 ± 3,0

Снижение массы тела у контрольных крыс было более выраженным, а дальнейший ее набор отмечен с некоторым замедлением по сравнению с животными опытной группы, среди которых колебания массы тела различались незначительно и подчинялись схожей закономерности. Отмеченные особенности общих неспецифических реакций могут косвенно свидетельствовать о более выраженном и замедленном течении воспалительного процесса с присущей ему системной интоксикацией.

Сразу после нанесения травмы у крыс рана несколько минут слабо кровоточила. В первые сутки площадь раны увеличивалась приблизительно на 10 % по отношению к исходной при минимальном кровотечении. При лечении ветеринарным бальзамом раневая поверхность закрывалась струпом на 1–2-й день. Нагноительных процессов не наблюдалось. У животных контрольной группы закрытие раны струпом также происходило на 1–2-й день, но ее заживление протекало с выраженными нагноительными процессами. Из табл. 2 видно, как изменяется площадь раневой поверхности у подопытных крыс групп 1 и 2 на различных сроках течения раневого процесса.

У животных группы 1 образование молодого сформированного эпителизованного рубца заканчивалось в среднем на 14–15-й день. К этому времени прилегающие ткани не отечны, мягкие и безболезненные при пальпации.

Таблица 2

Площадь (мм²) экспериментальных ран у крыс на различных сроках заживления

Группа животных	1-й день	3-й день	7-й день	14-й день	21-й день
Группа 1	164,0 ± 7,3	122,1 ± 5,5	71,1 ± 4,4	2,2 ± 0,2	–
Группа 2 (контроль)	168,5 ± 7,3	143,1 ± 6,3	97,5 ± 3,9	33,5 ± 2,6	3,1 ± 0,3

Период ремиссии проходил без осложнений. У контрольных животных полное заживление ран наступало лишь к 20–25 дню. Достоверные различия площадей раневой поверхности у опытных и контрольных животных наблюдали на 3-й день. В дальнейшем эта разница становилась более выраженной, т.е. можно констатировать, что противовоспалительный ветеринарный бальзам при лечении ран у животных увеличивает скорость их заживления на всех стадиях раневого процесса.

Гематологические исследования. До начала опытов показатели морфологического и биохимического состава крови у животных опытной и контрольной групп существенно не отличались. При лечении ветеринарным бальзамом значительное уменьшение выраженности лейкоцитарной реакции было отмечено уже на 7-й день ($(8,3 \pm 0,5) \cdot 10^9$ ед./л) и сохранялось на этом уровне до полного заживления раны, у контрольных крыс в те же сроки лейкоцитоз оставался выраженным в течение длительного времени (на 7-й день – $(10,7 \pm 0,8) \cdot 10^9$ ед./л; на 14-й – $(10,9 \pm 0,8) \cdot 10^9$ ед./л).

Ведущим изменением в видовом составе лейкоцитов является различное распределение нейтрофилов по зрелости у различных групп животных: у животных опытной группы 1, раны которых лечили ветеринарным бальзамом, более выражены процессы созревания нейтрофилов и преобладание сегментоядерных форм, достигающих максимума к 14-му дню лечения. Количество лимфоцитов у этих животных по сравнению с контрольными на всех сроках лечения заметно ниже.

Бактериологические исследования. Основными представителями микрофлоры в инфицирующем агенте являются стафилококки (*St. spp.*), кишечная палочка (*E. coli*), *Proteus*; дрожжеподобные грибы (*Candida*), синегнойная палочка (*P. aeruginosa*). Перед началом лечения с раневой поверхности животных всех групп выделялось примерно одинаковое количество бактериальных колоний (табл. 3). При отборе проб через 7 дней количество микроорганизмов в раневом экссудате контрольной группы снизилось в 1,7 раза, в группе 1 – в 3,6 раза, при этом *E. coli* и *Proteus* уже не были выделены. На 15-й день в контрольной группе с поверхности ран по-прежнему в умеренном количестве высевались монокультуры кишечной палочки, *Proteus* и др.

Таблица 3

**Количество микроорганизмов, выделенных на МПА
с единицы площади раневой поверхности**

Группа животных	Число колоний на 1 см ² по дням наблюдений		
	1-й день	7-й день	14-й день
Группа 1	137,0 ± 8,0	38,0 ± 2,0*	10,0 ± 1,3*
Группа 2 (контроль)	136,0 ± 5,0	81,0 ± 4,0	59,0 ± 2,0

* Степень достоверности различий между уровнем бактериальной обсемененности ран у животных разных групп $p < 0,001$.

Цитологические исследования. До начала лечения у животных обнаруживалась острая раневая смешанная инфекция. Процесс фагоцитоза микрофлоры был заторможен – незавершенный фагоцитоз достигал 33 % с наличием 19...43 стафилококков в цитоплазме нейтрофилов и макрофагов. Отмечалась резко выраженная воспалительная реакция, протекавшая с массовой гибелью ((72,1 ± 4,0) %) и дистрофией ((24,5 ± 2,3) %) нейтрофилов. Количество относительно сохранных нейтрофилов снижено ((3,1 ± 0,2) %).

На 7-й день лечения ветеринарным бальзамом наблюдалось значительное падение числа некротически измененных нейтрофильных лейкоцитов: от (69,1 ± 6,5) до (13,5 ± 5,9) %. В контрольной группе животных этот показатель снижался от (71,5 ± 3,7) до (44,3 ± 2,3) %. Вместе с тем резко увеличивалось относительное содержание нейтрофильных лейкоцитов с нормально сегментированными ядрами у всех групп животных.

Через 14 дней лечения ветеринарным бальзамом воспалительная реакция у крыс опытной группы была выражена слабее, чем у контрольной. Содержание погибающих некротически измененных нейтрофилов падало. Одновременно количество нейтрофилов с нормальной структурой ядер возрастало. На фоне затухания воспаления и гноеобразования активировалась регенерация ран с увеличением в отпечатках малодифференцированных полибластов и молодых соединительнотканых клеток (профибробластов, фибробластов). Полученные данные свидетельствуют о том, что противовоспалительный ветеринарный бальзам активно создавал условия для стимулирования регенерации мягких тканей раны.

Гистологические исследования. На 3-й день лечения выявился четкий кожно-мышечный дефект с признаками местной воспалительно-некротической реакции. По краю раны расположены группы некробиотических клеток, резко выражена отечность ткани, ее волокна разрыхлены, утолщены, гомогенизированы, края их размыты и неровные. В более глубоких слоях по ходу раневой поверхности клеточные элементы подвергались дистрофическим изменениям (кариопикнозу и кариорексису).

На 7-й день заживления у животных, проходивших лечение ветеринарным бальзамом, по сравнению с контрольными отмечены менее выраженная краевая воспалительная реакция, более активная регенерация эпидермиса,

а также наличие большего числа вновь образованных мелких сосудов на единицу площади, распределение которых более равномерно. Кроме этого, наблюдалось формирование структур соединительной ткани в виде коллагеновых волокон.

На 14-й день у животных группы 1 (опыт) образовался незрелый соединительно-тканевый рубец, заполняющий большую часть раневого дефекта.

На 21-й день у опытных крыс в центре участка травматизации кожи базальный слой производящего слоя эпидермиса располагался в один ряд с фигурами деления, слегка углубляющимися выступами в подлежащую ткань сосочкового слоя без воронок волосяного фолликула. Шиповатый слой был представлен 3–4-мя рядами клеток разнообразной формы с фигурами деления, между которыми встречались (по одиночке или группами) лимфоциты. Клетки зернистого слоя эпителия резко уплощались и интенсивно окрашивались в однородный непрозрачный синий цвет с расположением в 3–4 ряда в виде вытянутых волоконцев, переходящих в тонкие вытянутые роговые чешуйки.

Соединительно-тканевые структуры этих участков были в меньшей степени инфильтрированы клеточными элементами. За пограничной (перифокальной) зоной травматизации все слои кожного покрова имели нормальное гистологическое строение.

Полученные нами данные общего состояния животных (на примере крыс), клинической картины заживления раны, изменений площади раны, гематологических, бактериологических, цитологических и гистологических исследований позволяют сделать заключение о значительном лечебном эффекте, оказываемом противовоспалительным ветеринарным бальзамом при лечении острых инфицированных кожно-мышечных размозженных ран у животных.

После дополнительных исследований по корректировке рецептуры противовоспалительного ветеринарного бальзама предлагается обсудить вопрос о целесообразности широкого применения данного терапевтического препарата в ветеринарной практике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Боровиков П.В., Ивченко Г.И.* Прогнозирование в системе Statistika в среде Windows: моногр. М.: Финансы и статистика, 2000. 381 с.
2. *Водопьянов И.Ф.* Лечение ран у животных с помощью пенополиуретановой повязки «САРЭЛ»: дис. ... канд. вет. наук. Новгород, 2008. 136 с.
3. Клиническая лабораторная диагностика в ветеринарии / И.П. Кондрахин [и др.]: справ. М.: Агропромиздат, 1985. 287 с.
4. *Кондратьев В.С.* Морфологические и биохимические исследования крови у животных: моногр. Л.: Изд-во ЛВИ, 1976. 65 с.
5. *Меркулов Г.А.* Курс патологоанатомической техники: моногр. Л.: Медицина, 1969. 423 с.
6. Переработка низкосортной и мелкотоварной древесины в энтеросорбенты для сельского хозяйства методом совмещенного процесса карбонизации-активации на модульных установках в полевых условиях / Н.И. Богданович, В.П. Короткий, В.И. Великанов, Д.К. Носков // Лесн. журн. 2010. № 4. С. 126–131. (Изв. высш. учеб. заведений).

7. *Пирс Э.* Гистохимия: моногр. М.: Изд-во иностр. лит., 1962. 929 с.
8. *Покровская М.П., Макаров М.С.* Цитология раневого экссудата как показатель процесса заживления раны: моногр. М.: Медгиз, 1942. 44 с.
9. *Попова Л.Н.* Как изменяются границы вновь образующегося эпидермиса при заживлении раны: автореф. дис. ... канд. мед. наук. Воронеж, 1942. 20 с.
10. *Фролов Ю.А.* Лесоводственно-биологические и технологические основы подсоски сосны обыкновенной: моногр. СПб., 2001. 448 с.

Поступила 4.04.11

V.P. Korotky¹, V.I. Velikanov², N.I. Bogdanovich³, V.I. Roshchin⁴, I.F. Vodopyanov², I.V. Chechet⁵

¹Science and Technology Center "Himinvest"

²Nizhny Novgorod State Agricultural Academy

³Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

⁴St. Petersburg State Forest Technical University

⁵Nizhny Novgorod pharmacy group

Development of New Techniques to Produce Pine Resin-based Drags for Veterinary Medicine

It has been established that pine resin in combination with other substances extracted from wood biomass has a healing effect when applied to wound lesions of animals.

Key words: pine resin, veterinary medicine, healing ointments, coniferous chlorophyll-carotene paste, "Sibiol" medicine, coniferous wax

УДК 676.154.6

М.Л. Демидов, А.В. Гурьев

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

Демидов Максим Леонидович родился в 1987 г., окончил в 2009 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры технологии целлюлозно-бумажного производства Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет 6 печатных работ в области исследования свойств полуфабрикатов для производства тарного картона.
E-mail: m.demidov@narfu.ru



Гурьев Александр Владиславович родился в 1965 г., окончил в 1990 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии целлюлозно-бумажного производства Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова. Имеет 120 печатных работ в области технологии получения тарного картона и современных методов оценки его качества.
E-mail: a.guriev@narfu.ru



РАЗРАБОТКА И ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ВАРКИ ПОЛУЦЕЛЛЮЛОЗЫ ИЗ ОСИНЫ*

Разработан оптимальный режим получения высококачественной осиновой полуцеллюлозы в лабораторных условиях с обоснованием диапазона варьирования основных факторов варки для энергосберегающей технологии.

Ключевые слова: полуцеллюлоза, варка, зеленый щелок, лигнин, флютинг, прочность, сопротивление сжатию.

Производство полуцеллюлозы – один из основных способов переработки древесины лиственных пород, который предполагает прекращение варки на относительно ранней стадии, когда клеточная стенка волокна сохраняет основную часть лигно-гемицеллюлозного комплекса. Это необходимо для обеспечения быстрого перехода компонентов структуры волокна из стеклообразного физического состояния в высокоэластичное и вязко-текучее и обратно, что является базовым условием оптимального режима гофрирования флютинга.

К современным промышленным способам производства полуцеллюлозы можно отнести бисульфитный, нейтрально-сульфитный, сульфатный, содово-натронный и метод варки с зеленым щелоком [6].

При оценке способов производства полуцеллюлозы необходимо учитывать экономичность системы регенерации отработанных щелоков и возможность восполнения потерь дешевыми и недефицитными химикатами [8].

* Работа выполнена в центре коллективного пользования научным оборудованием «Арктика» САФУ имени М.В. Ломоносова при частичной финансовой поддержке Минобрнауки России.

© Демидов М.Л., Гурьев А.В., 2012

При производстве бисульфитной полуцеллюлозы (рН 3...5) в сочетании с высоким выходом полуфабриката, простым и эффективным способом регенерации химикатов обеспечивается защита водной и воздушной среды от вредных выбросов, а также экономичное использование органической части щелоков для получения пара или лигносульфонатов. Однако технология регенерации бисульфитных варочных растворов отработана только для магниевого основания и экономически целесообразна при производительности потока свыше 600 т/сут. [1, 2].

Основной способ производства полуцеллюлозы на отечественных предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности – нейтрально-сульфитный на натриевом основании, который в отдельности также не имеет достаточно надежной и эффективной системы регенерации химикатов. В связи с этим производство полуцеллюлозы комбинируют с сульфатным производством и используют совместную регенерацию красного и черного щелоков с возвратом активной щелочи в сульфатный процесс. Классическим вариантом производства нейтрально-сульфитной полуцеллюлозы является варка с моносульфитом натрия, забуференным содой или бикарбонатом, реже сульфидом натрия или каустиком (рН 7...10). Количество добавляемого буфера должно обеспечивать нейтрализацию кислых продуктов при варке и окончание процесса в нейтральной среде (рН 6,8...7,4). Выход нейтрально-сульфитной полуцеллюлозы для флютинга обычно варьируется от 75 до 80 % [1, 8].

Нейтрально-сульфитная варка по отношению к бисульфитной имеет неоспоримое преимущество – повышенную прочность волокнистого полуфабриката. Однако имеются данные о том, что бисульфитная полуцеллюлоза из смеси лиственных пород древесины в широком диапазоне выхода (70...80 %) обладает более высоким (на 5...10 %) сопротивлением плоскостному сжатию [5].

Универсальными, с точки зрения переработки различных видов сырья, являются щелочные способы варки. Наиболее распространенная сульфатная варка позволяет получить полуцеллюлозу с выходом около 70 % и высокими показателями механической прочности. Сульфатная полуцеллюлоза, применяемая при изготовлении бумаги для гофрирования и тарного картона, имеет темный цвет, меньший выход и сопротивление плоскостному сжатию, пониженную впитываемость, труднее, чем нейтрально-сульфитная, подвергается гофрированию и поэтому имеет ограниченное применение [2].

Содово-натронный способ производства полуцеллюлозы, который часто называют бессернистым, в настоящее время успешно применяется на ряде зарубежных предприятий. По сравнению с нейтрально-сульфитным этот способ позволяет увеличить выход волокнистого полуфабриката, почти полностью исключить загрязнение окружающей среды, удобен с точки зрения химизма регенерации щелочи из отработанных растворов. Однако для его промышленной экономически оправданной реализации необходимо выделение системы регенерации в отдельный технологический поток, параллельный потоку регенерации сульфатного процесса [4].

Альтернативным сульфатному и содово-натронному является сульфитно-щелочной способ варки полуцеллюлозы [8], который позволяет использовать преимущества нейтрально-сульфитного и щелочных способов, а также значительно уменьшить выбросы токсичных и дурнопахнущих веществ по сравнению с сульфатным. Щелочные способы варки при получении полуцеллюлозы обеспечивают наиболее благоприятные условия разволокнения (дефибрирования) древесного сырья: при кратковременной высокотемпературной варке щепы щелочными растворами низкой концентрации наблюдается значительно большее набухание компонентов древесного комплекса и размягчение срединной пластинки.

Способ варки полуцеллюлозы с зеленым щелоком можно рассматривать как один из наиболее перспективных. В настоящее время его успешно применяют за рубежом. Основной экономической предпосылкой для этого является использование более простой схемы регенерации варочных растворов при одновременном снижении нагрузки на систему каустизации, в связи с чем сокращаются расходы химикатов.

Основным недостатком технологии варки с зеленым щелоком принято считать ряд трудностей, связанных с охраной окружающей среды. Низкий pH щелока в конце варки способствует выделению из раствора H_2S и других серосодержащих соединений. Результаты исследований состава газообразных продуктов варки полуцеллюлозы с использованием зеленого щелока в качестве варочного реагента довольно подробно представлены в работе [9]. Повышение pH за счет увеличения расхода общей щелочи или использования щелочных буферных агентов приводит к уменьшению выхода полуцеллюлозы. Использование для варки окисленного зеленого щелока или окисление компонентов газовой фазы в конце варки не нашло практического применения ввиду необходимости установки сложного дополнительного оборудования [6, 8].

Более перспективным направлением утилизации выбросов токсичных соединений является сжигание сдувочных газов в содорегенерационном котле или известерегенерационной печи (по способу компании «Andritz»), что значительно снижает уровень загрязнения окружающей среды. Подобная технология внедрена и успешно функционирует на ОАО «Монди Сыктывкарский ЛПК» [10].

Несмотря на промышленное освоение способа варки полуцеллюлозы с зеленым щелоком, исчерпывающие сведения о технологии производства и качестве полуфабриката отсутствуют, а имеющаяся информация носит, чаще всего, рекламный характер. Данное исследование направлено в том числе и на получение новых знаний о процессе и свойствах полуфабриката из древесины осины (*Populus tremula*), как наиболее перспективной породы.

На предыдущих этапах исследования авторами было установлено, что полуцеллюлоза из древесины осины при подборе соответствующего технологического режима и щелочных варочных реагентов по качественным характеристикам не уступает полуцеллюлозе из смеси лиственных пород [3].

В целях дальнейшей отработки технологических режимов и определения оптимальных параметров производства осиновой полуцеллюлозы проведено исследование влияния основных факторов варки на выход и свойства получаемого полуфабриката путем проведения модельного эксперимента в форме трехфакторного равномер-рототабельного плана второго порядка Бокса–Хантера [7]. В качестве варьируемых факторов (независимых переменных) были приняты: расход общей щелочи G , %; продолжительность варки τ , мин; температура варки T , °С (табл. 1). Диапазон варьирования исследуемых факторов позволил наиболее полно оценить возможность влияния входных параметров процесса на свойства полученных полуфабрикатов и был выбран на основе анализа литературных данных [6] и ранее проведенных исследований [3].

Таблица 1

Независимые переменные	Интервал варьирования	Звездное плечо ($\alpha = 1,682$)	Уровень факторов				
			-1,682 ($-\alpha$)	-1	0	1	1,682 ($+\alpha$)
G , %(ед. Na_2O), (X_1)	2	3,4	4,6	6	8	10	11,4
τ , мин (X_2)	10	17	13	20	30	40	47
T , °С (X_3)	5	8,5	156,5	160	165	170	173,5

В эксперименте использована нормальная фракция осинового щепы производственного изготовления. Прочие параметры варки приняты постоянными: гидромодуль – 3:1; продолжительность пропитки при 110 °С – 15 мин; сульфидность зеленого щелока – 35 г/л. В результате эксперимента получены различные образцы полуцеллюлозы, общий выход которых варьируется от 73,5 до 85,9 %.

Оцениваемыми выходными параметрами являлись основные характеристики полуфабриката после варки – выход (B), число каппа, содержание остаточного лигнина (L), разрывная длина (L), сопротивление продавливанию (Π), разрушающее усилие при сжатии кольца (RCT), сопротивление сжатию короткого участка образца (SCT) и сопротивление плоскостному сжатию гофрированного образца ($СМТ_{30}$). Во всех случаях использовались стандартные методики и оборудование.

Содержание остаточного лигнина в образцах, полученных при реализации планированного эксперимента, определяли методом спектроскопии диффузного отражения в ультрафиолетовой области (длина волны 280 нм) с применением спектрофотометра UV-3600 (фирмы «Shimadzu»).

Условия проведения эксперимента (G , τ , T) и полученные результаты (выходные параметры) представлены в табл. 2.

Таблица 2

G, %	τ, мин	T, °C	B, %	Число каппа	Л, %	Показатели качества*				
						L, м	П, кПа	RCT, Н	SCT, кН/м	СМТ ₃₀ , Н
10	40	170	73,5	126	15,4	9500	540	290	5,20	230
6	40	170	78,5	135	14,7	8900	510	320	5,23	240
10	20	170	78,8	132	15,1	9800	480	295	5,06	225
6	20	170	82,5	137	14,5	9100	470	285	4,85	220
10	40	160	76,8	131	14,9	8300	510	305	5,16	235
6	40	160	82,6	129	14,3	8200	480	280	5,18	225
10	20	160	81,7	134	14,8	8000	480	290	5,04	220
6	20	160	85,9	135	14,1	7500	410	280	4,53	210
11,4	30	165	78,1	132	15,2	9600	530	295	4,38	230
4,6	30	165	84,5	132	14,4	7700	410	260	4,82	210
8	47	165	75,5	136	15,2	9300	520	315	5,24	245
8	13	165	82,2	136	14,4	8200	450	310	4,95	235
8	30	173,5	75,5	138	14,6	9300	500	315	5,23	240
8	30	156,5	82,0	140	14,4	8200	470	320	5,02	235
8	30	165	80,4	133	14,8	9400	500	310	5,19	245
8	30	165	80,5	134	15,4	9400	470	305	4,97	235
8	30	165	80,9	137	15,1	9500	460	305	5,13	235
8	30	165	79,7	132	15,1	9800	470	315	5,09	240
8	30	165	80,9	136	14,9	9000	480	290	5,11	235
8	30	165	80,6	135	15,3	9800	470	300	4,97	235

*Для анализа физико-механических характеристик изготавливали лабораторные отливки массой 1 м² 125 г из предварительно размолотой до 30 °ШР полуцеллюлозы.

Характер влияния основных факторов варки на выход и физико-механические показатели полуцеллюлозы устанавливали, используя в качестве моделей уравнения регрессии в кодированной форме. Математическая модель, рассчитанная на основе данных, полученных при реализации плана эксперимента, имеет следующий вид:

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2.$$

Значения коэффициентов в уравнениях регрессии для характеристик полуфабриката представлены в табл. 3.

При анализе влияния исследованных факторов варки на основные свойства полуцеллюлозы учитывали абсолютную величину и знак при коэффициентах. Чем выше значения коэффициентов при линейных членах уравнения регрессии вида b_i ($b_1...b_3$), тем сильнее выражено влияние фактора. Значимые коэффициенты парных взаимодействий вида b_{ij} ($b_{12}...b_{23}$) свидетельствуют об искривлении поверхности отклика в исследуемой области, а коэффициенты, учитывающие квадратичные эффекты b_{ii} ($b_{11}...b_{33}$), указывают на наличие экстремумов.

Таблица 3

Коэф- фициент	В, %	Число каппа	Л, %	Показатели качества				
				L, м	П, кПа	RCT, Н	SCT, кН/м	CMT ₃₀ , Н
b_0	80,4	134	15,1	9470	474	304	5,07	237
b_1	-2,16	-1,02	0,29	373	25,0	5,41	-0,02	3,56
b_2	-2,11	-1,38	0,16	172	23,3	3,91	0,13	5,26
b_3	-1,80	-0,17	0,14	523	12,5	1,95	0,06	2,45
b_{12}	-0,36	–	–	-62,5	-2,50	-3,12	-0,10	-1,88
b_{13}	0,16	-1,88	–	87,5	-7,50	-6,88	-0,04	-3,12
b_{23}	-0,14	0,12	0,02	-188	–	1,88	-0,03	-0,62
b_{11}	0,40	-1,74	-0,08	-293	-0,60	-11,3	-0,15	-7,49
b_{22}	-0,46	-0,24	-0,08	-258	4,70	1,10	0,03	-0,42
b_{33}	-0,50	0,91	-0,19	-258	4,70	2,87	0,04	-1,30
$F_{\text{табл}}$	5,05	5,05	5,05	5,05	5,05	5,05	5,05	5,05
$F_{\text{расч}}$	1,63	4,08	0,63	2,17	1,89	2,87	5,38	3,21
$R_{\text{мк}}$	0,99	0,77	0,93	0,94	0,94	0,84	0,87	0,91

Все полученные модели аппроксимирующего полинома, за исключением показателя SCT , адекватно описывают процесс, так как расчетные значения критерия Фишера ($F_{\text{расч}}$) оказались ниже, чем допустимые (табличные) значения ($F_{\text{табл}}$). Высокие значения коэффициентов множественной корреляции свидетельствуют о достижении необходимой точности аппроксимации.

Анализируя коэффициенты уравнений регрессии применительно к выходу и числу каппа, следует отметить, что все исследованные параметры варки оказывают отрицательное влияние на данные показатели, т.е. при увеличении любого из факторов выход и число каппа снижаются. Совместное влияние параметров варки и квадратичные эффекты выражены неоднозначно.

Изменения физико-механических характеристик полуцеллюлозы, оцениваемые по коэффициентам в уравнениях регрессии, свидетельствуют о существенном влиянии факторов варки как на прочность, так и на механическую жесткость отдельных волокон полуфабриката. Коэффициенты парного влияния факторов практически во всех уравнениях имеют отрицательный знак. Это означает, например, что при низкой температуре варки увеличение расхода общей щелочи или продолжительности процесса положительно отражается на уровне показателя. Отрицательное значение коэффициентов, учитывающих квадратичный эффект, предопределяет наличие максимума на всех поверхностях отклика для разрывной длины и сопротивления плоскостному сжатию, а также наличие минимума на некоторых поверхностях аппроксимирующего полинома для сопротивления продавливанию и разрушающего усилия при сжатии кольца.

Для большей наглядности изменения свойств полуфабрикатов из осины в процессе варки на рис. 1, 2 представлены в виде поверхностей, четко отображающих влияние основных параметров производства полуцеллюлозы на исследованные характеристики.

Рис. 1. Зависимость выхода B ($a, в, д$) и содержания остаточного лигнина L ($б, г, е$) осиновой полуцеллюлозы от основных факторов варки: $a, б$ – от τ и G ; $в, г$ – от T и G ; $д, е$ – от T и τ

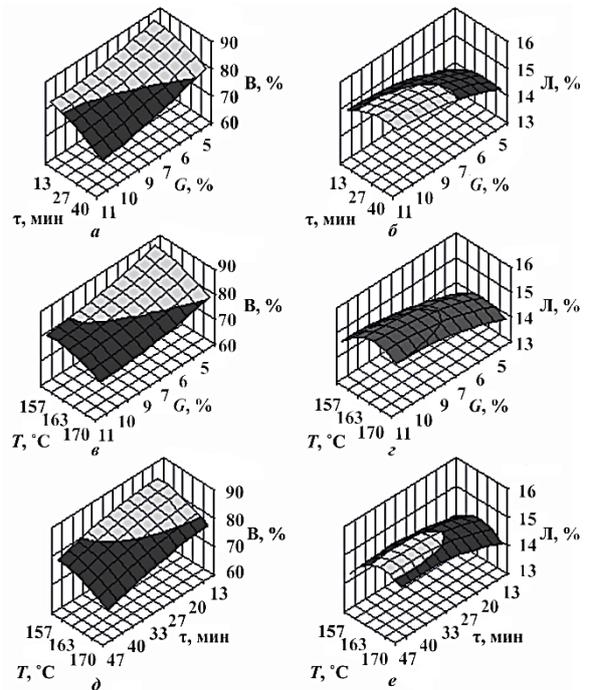
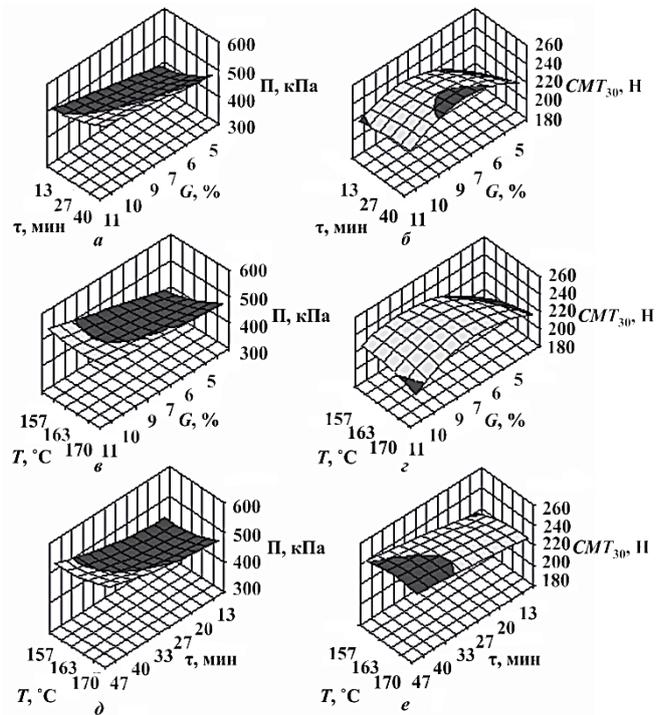


Рис. 2. Зависимость сопротивления продавливанию ($a, в, д$) и сопротивления плоскостному сжатию ($СМТ_{30}$) гофрированного образца ($б, г, е$) осиновой полуцеллюлозы от основных факторов варки (см. обозначения на рис. 1)



В результате математической обработки полученных экспериментальных данных и анализа уравнений регрессии проведена оптимизация факторного пространства с целью получить полуфабрикат с максимально высоким показателем CMT_{30} . Выделены и апробированы два оптимальных для данного параметра режима получения полуцеллюлозы. Результаты сведены в табл. 4 в сопоставлении с прогнозируемыми по математическим моделям значениями.

Особое внимание к обеспечению высокого уровня сопротивления плоскостному сжатию гофрированного образца обусловлено ключевым значением данной характеристики с точки зрения последующего изготовления и переработки бумаги для гофрирования. Зачастую низкий уровень CMT_{30} является главной причиной ограниченного использования отдельных видов полуцеллюлозы в композиции флютинга. В соответствии с ГОСТ 20682–75 допускается проводить испытание образцов с шириной 12,7 (методика, использованная в данной работе) или 15,0 мм. В случае испытания образцов шириной 15,0 мм показатель CMT_{30} возрастает до 290...320 Н, что дополнительно подтверждает пригодность полуфабриката из 100 % осинового сырья для изготовления качественного тарного картона и, прежде всего, бумаги для гофрирования.

Таблица 4

Характеристики полуфабриката	Режим варки 1 ($G = 7,8 \%$; $\tau = 47$ мин; $T = 168,5$ °C)	Режим варки 2 ($G = 7,9 \%$; $\tau = 34$ мин; $T = 165,0$ °C)
Выход, %	74,3/73,5	79,4/80,5
Число каппа	132/134	134/135
Лигнин, %	15,1/14,9	15,1/15,1
Показатели качества:		
L , м	9000/9100	9500/9500
Π , кПа	530/510	480/480
RCT , Н	320/300	305/305
SCT , кН/м	5,41/4,86	5,13/5,08
CMT_{30} , Н	245/235	240/240

Примечание. В числителе приведены расчетные значения (по моделям), в знаменателе – фактически значения показателей полуцеллюлозы.

Полученные данные обеспечивают достаточно высокую сходимость расчетных и эмпирических показателей полученных образцов полуцеллюлозы.

Выводы

1. Результаты реализации планированного эксперимента свидетельствуют, что при обоснованном выборе оптимального сочетания основных факторов варки на зеленом щелоке возможно получение высококачественной полуцеллюлозы для тарного картона из 100 % осины.

2. Разработаны математические модели, позволяющие адекватно прогнозировать выход и физико-механические характеристики полуфабрикатов на основе варьирования расхода зеленого щелока, температуры и продолжительности варочного процесса.

3. С помощью метода спектроскопии диффузного отражения получены новые данные о количестве остаточного лигнина в полуцеллюлозе из осины в широком диапазоне факторов варки и варьировании pH отработанных щелочков от 7,8 до 9,4.

4. Установлены и апробированы режимы варки на зеленом щелоке, оптимальные для выработки полуфабриката с выходом около 80 % и максимальным уровнем сопротивления плоскостному сжатию – основных условий для обеспечения экономической и технологической эффективности предлагаемых решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бутко Ю.Г., Пелевин Ю.А. Современные методы приготовления сульфитных варочных растворов. М.: Лесн. пром-ть, 1970. 304 с.
2. Галеева Н.А. Производство полуцеллюлозы и целлюлозы высокого выхода. М.: Лесн. пром-ть, 1970. 320 с.
3. Демидов М.Л., Миловидова Л.А., Гурьев А.В. Режимы варки и характеристики полуцеллюлозы из осины // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2011. № 2. С. 44–46.
4. Курятников А.Б., Непенин Ю.Н., Жалина В.А. Содово-натронный способ получения полуцеллюлозы из лиственной древесины // Бум. пром-сть. 1987. № 1. С. 10–11.
5. Непенин Н.Н. Технология целлюлозы. В 3-х т. Т.1. Производство сульфитной целлюлозы. Изд. 2-е, перераб. / Под ред. Ю.Н. Непенина. М.: Лесн. пром-ть, 1970. 224 с.
6. Непенин Ю.Н., Жалина В.А., Курятников А.Б. Сравнительная оценка различных способов производства полуцеллюлозы из лиственной древесины // Лесн. журн. 1987. № 1. С. 75–78. (Изв. высш. учеб. заведений).
7. Пен Р.З. Статистические методы моделирования и оптимизации процессов целлюлозно-бумажного производства: учеб. пособие. Красноярск: Изд-во КГУ, 1982. 192 с.
8. Полуфабрикаты высокого выхода из лиственной древесины // Целлюлозно-бумажное машиностроение: обзор. информ. М.: ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1991. 59 с.
9. Состав дурнопахнущих газов при варке полуцеллюлозы с зеленым щелоком [Текст] / Ю.Н. Непенин, В.Г. Кенин, В.А. Жалина, А.В. Филиппов // Лесн. журн. 1981. № 1. С. 75–77. (Изв. высш. учеб. заведений).
10. Экологический отчет 2009-2010 ОАО «Монди СЛПК». Сыктывкар: DIEZ.

Поступила 20.10.11

M.L. Demidov, A.V. Guryev

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

Development and Optimization of Pulping Conditions of Semi-Chemical Pulp from Aspen Wood

In laboratory environment the optimal pulping conditions for obtaining high quality semi-chemical pulp from aspen wood were developed. The range of variation of key factors of semi-chemical pulp cooking to create energy-saving technology was substantiated.

Key words: semi-chemical pulp, cooking, green liquor, lignin, fluting, strength, compressive strength.

УДК 676.27:678.5

М.Ф. Галиханов, Л.Р. Мусина

Казанский национальный исследовательский технологический университет

Галиханов Мансур Флоридович родился в 1972 г., окончил в 1995 г. Казанский государственный технологический университет, доктор технических наук, профессор кафедры технологии переработки полимеров и композиционных материалов Казанского национального исследовательского технологического университета. Имеет более 180 научных работ в области получения, исследования структуры и свойств материалов на основе полимерных композиций, технологии тароупаковочных активных материалов.

E-mail: mgalikhanov@yandex.ru



Мусина Ляйсан Рафаиловна окончила в 2009 г. Казанский государственный технологический университет, аспирант кафедры технологии переработки полимеров и композиционных материалов Казанского национального исследовательского технологического университета, технолог производства гофропродукции ОАО «Хитон». Имеет 4 работы в области получения и исследования свойств тароупаковочных материалов на основе целлюлозно-бумажных и полимерных композиций.

E-mail: L.musina@yandex.ru



ИЗМЕНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГОФРОКАРТОНА ПРИ ЕГО ПОКРЫТИИ ПОЛИЭТИЛЕНОМ

Предложен метод покрытия гофрокартона барьерным материалом в виде полимерной пленки; проанализировано влияние барьерного покрытия на показатели физико-механических свойств гофрокартона.

Ключевые слова: гофрокартон, полиэтиленовое покрытие, ламинирование, экструзия, физико-механические свойства.

В настоящее время существует большое количество упаковочных материалов, применяемых для производства транспортной групповой тары. Одним из самых динамично развивающихся в России на протяжении последних 10 лет является рынок упаковки из гофрокартона [3], благодаря его преимуществам – легкости, дешевизне, простоте перевозки, хранения, утилизации и экологической чистоте.

Основной недостаток гофрированного картона – низкие барьерные свойства. Он мало устойчив к действию влаги, жиров, кислот, что приводит к резкому ограничению ассортимента упаковываемой в него продукции. Высокая гигроскопичность гофрированного картона снижает его механические свойства. Например, повышение влажности картона до 13 ... 14 % уменьшает сопротивление торцевому сжатию до 50 %, а при влажности 18 ... 20 % тара из него практически теряет свои прочностные свойства и становится непригодной для использования [1]. Следует отметить, что если условия хранения

пустых гофроящиков регламентированы нормативными документами, то хранение заполненных ящиков осуществляется, в лучшем случае, в соответствии с нормативами на конкретный вид продукции. Зависимость прочностных свойств гофрокартона от условий хранения во внимание, как правило, не принимается. Чувствительность к изменению влажности окружающей среды во многом зависит от применяемого сырья при производстве гофрированного картона. Повышенная гидрофильность у сырья, изготовленного из макулатуры, обычно выше, чем у первичных полуфабрикатов. Тенденция увеличения потребления макулатурного сырья и связанное с этим увеличение количества циклов переработки также приводят к ухудшению бумагообразующих свойств волокон [4].

В России практически отсутствует производство упрочненного и влагостойкого гофрокартона, хотя потребность в нем составляет примерно 120...130 млн м² [3]. Основными потребителями упаковки из подобного гофрированного картона являются производители влаго- и жиросодержащих продуктов, радиоэлектронной аппаратуры, изделий для машиностроения, химическая промышленность.

На сегодняшний день из множества способов придания упаковке из гофрированного картона повышенной прочности и влагостойкости выделяют применение проклейки в массе, поверхностную обработку клеевыми или парафиновыми композициями картона для плоских слоев и бумаги для гофрирования, пропитку (импрегнирование) картона для плоских слоев парафиновыми композициями или термосклеивающими смолами. В России были разработаны и апробированы в условиях производства следующие способы получения гофрированного картона с улучшенными характеристиками: выпуск гофрированного картона повышенной прочности с дублированным гофрированным слоем и влагостойкого гофрированного картона по методу термосклеивания [2].

Цель данной работы – исследование физико-механических свойств гофрокартона, покрытого полиэтиленовой пленкой, и изучение возможности его промышленного производства.

В качестве объектов исследования был выбран гофрокартон марки Т 22 (ГОСТ Р 52901–2007) и стрейч-пленка из полиэтилена высокого давления (ПЭВД) толщиной 10 мкм. Покрытие полиэтиленом осуществляли следующим образом. На образцы гофрокартона размерами 50×150, 100×150, 125×125, 100×25 и 100×100 мм накладывали стрейч-пленку ПЭВД и помещали на 10 мин в термошкаф при температуре 150 °С для возникновения плотного адгезионного соединения полимера с поверхностью картона. Полученный гофрокартон охлаждали при комнатной температуре.

Испытание гофрокартона на сопротивление торцевому сжатию проводили по ГОСТ 20683–97, на сопротивление продавливанию – по ГОСТ 13525.8–86, на сопротивление расслаиванию – по ГОСТ 22981–78. Водостойкость клеевого соединения определяли погружением в воду (ГОСТ 30758–2001), поверхностную впитываемость – односторонним смачиванием при комнатной температуре в течение 60 с (ГОСТ 12605–97, метод Кобба).

Результаты испытаний представлены в таблице.

Показатели	Значение показателей физико-механических свойств гофрокартона		Изменение показателей, %
	без полиэтиленового покрытия	с полиэтиленовым покрытием	
Сопrotивление:			
а) продавливаю, кгс/см ² , по стороне:			
внутренней	7,53	8,68	+ 15,00
внешней	7,15	7,36	+ 3,00
б) торцевому сжатию, кН/м	4,06	4,43	+ 9,00
в) расслаиванию, кН/м, по стороне:			
внутренней	0,33	0,35	+ 6,00
внешней	0,30	0,31	+ 3,00
Влагостойкость клевого соединения, с	199	267	+ 34,00
Поверхностная впитываемость методом Кобба, г/м ²	28,74	3,50	- 721,14

Как видно из таблицы, покрытие гофрокартона полиэтиленом повышает сопротивление продавливанию, что вполне логично – любой материал, в составе которого имеется дополнительный слой, превосходит свой аналог без этого слоя по физико-механическим показателям (при условии, если дополнительный слой сам обладает повышенными физико-механическими свойствами, как в данном случае). Механизм увеличения сопротивления гофрокартона продавливанию представляется следующим: при формировании полиэтиленового слоя расплав полимера проникает в поверхностные межволоконные области лайнера, уменьшая степень свободы фибрилл и волокон. Это ведет к повышению жесткости одного из картонных слоев и возрастанию жесткости гофрокартона в целом. Этот механизм подразумевает и увеличение сопротивления гофрокартона торцевому сжатию при покрытии полиэтиленом. Действительно, проведенные испытания показывают, что гофрокартон, покрытый полиэтиленом, по этому показателю превышает свой аналог практически на 10 % (см. таблицу). Представляется, что в реальных композициях, подразумевающих ламинирование, данный эффект может быть более ощутим.

Увеличение сопротивления расслаиванию гофрокартона с полиэтиленовым покрытием (т.е. увеличение адгезионной прочности между лайнером и флютингом) незначительно и лежит в пределах ошибки эксперимента (около 5 %). Однако это небольшое отличие в свойствах объяснимо. Адгезионная прочность измеряется как удельная работа или удельная сила разрушения связи между адгезивом и субстратом. При механическом разрушении адгезионного соединения работа, затрачиваемая на отслаивание двух тел, идет не только на преодоление адгезии, но и на другие побочные процессы (деформация тела, преодоление сил механических зацеплений и т.д.). При ламинировании повышается прочность лайнера за счет появления полимерного покрытия, что влечет за собой и увеличение работы на отслаивание лайнера от флютинга, т.е. адгезионная прочность соединения слоев гофрокартона возрастает.

Более кардинальные изменения свойств гофрокартона при покрытии полиэтиленом наблюдаются при изучении его поверхностной впитываемости и влагостойкости клеевого соединения. Наличие полимерного слоя снижает поверхностную впитываемость материала более чем на 30 %. Это происходит вследствие замедления скорости диффузии молекул воды через поверхность гофрокартона, покрытого полиэтиленовой пленкой (с одной стороны), что препятствует проникновению влаги в структуру материала. Это явление способствует и повышению влагостойкости клеевого соединения покрытого полиэтиленом гофрокартона по сравнению с обычным.

Таким образом, покрытие гофрокартона полиэтиленом улучшает показатели его физико-механических свойств, что способствует повышению марки картона до Т-23.

Исходя из основных задач любой инновационной разработки – оптимальности и эффективности, на следующем этапе была рассмотрена возможность ламинирования картона для плоских слоев гофрокартона полимерными пленками непосредственно на гофроагрегате. В этом случае наиболее приемлемо ламинирование с помощью адгезива (рис. 1), которое осуществляется с использованием как крахмальных, так и синтетических клеев. Этот факт играет весомую роль, ведь при производстве гофрокартона также применяют крахмальные клеи, что не потребует изменений в технологии и дополнительных затрат на сырье. На сегодняшний день большинство линий по производству гофрокартона снабжены дуолучевыми раскатами. Это позволяет вмонтировать в действующую линию производства гофрированного картона только клеевую ванну. Совмещение слоев осуществляется на раскатах, процесс сушки (для удаления воды из клея) – на подогревателе.

Одним из универсальных способов ламинирования бумажных материалов полимерными покрытиями является экструзионное ламинирование.

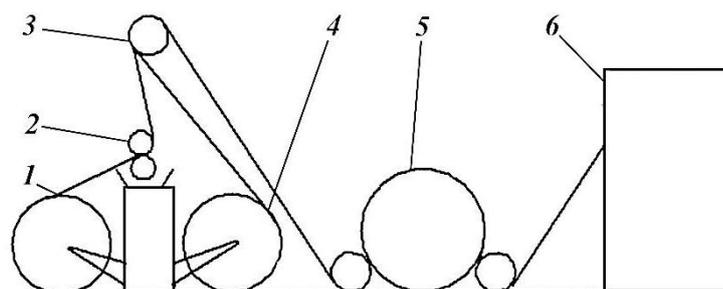


Рис. 1. Схема ламинирования с помощью адгезива: 1 – полимерная пленка, 2 – клеевая ванна, 3 – вал, 4 – картон для плоских слоев гофрокартона, 5 – подогреватель, 6 – гофропресс

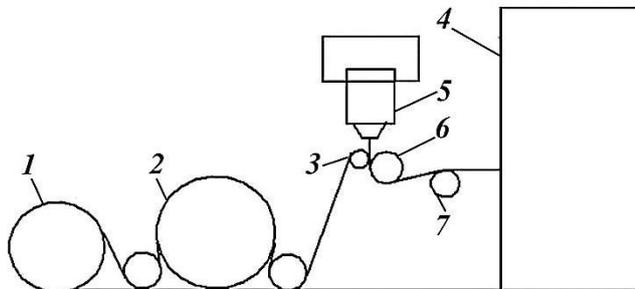


Рис. 2. Схема экструзионного ламинирования:
 1 – раскат картона для плоских слоев, 2 – подогреватель, 3 – узел предварительной обработки, 4 – гофропресс, 5 – экструдер, 6 – прижимной вал, 7 – охлаждающий вал

Данную технологию гофрокартона можно представить в виде схемы, приведенной на рис. 2. Расплав полимера через плоскощелевую головку экструдера наносится на поверхность материала-основы перед валками ламинатора. За счет высокой температуры и давления между валками осуществляется соединение картона с экструдированным полимером. Готовый материал подается в гофропресс. Ламинированный картон можно использовать для внутреннего слоя гофрокартона.

Представляется, что из двух предложенных технологий изготовления ламинированного гофрокартона оптимальной является технология экструзионного ламинирования, которая универсальна, позволяет с легкостью изменять толщину пленочного покрытия, а также более экономична в масштабах производства.

Таким образом, по результатам испытаний на сопротивление торцевому сжатию вдоль гофров, сопротивлению продавливанию и расслаиванию, определение поверхностной впитываемости и влагостойкости клеевого соединения можно сделать вывод, что гофрокартон, покрытый полиэтиленом, значительно превосходит обычный трехслойный гофрокартон по ряду показателей физико-механических свойств. Для российских производителей производство подобной тары может стать перспективным направлением сбыта и расширит области применения гофрированного картона. Использование имеющегося оборудования при совершенствовании технологического процесса открывает большие возможности как для производства нового перспективного упаковочного материала для разнообразных продуктов, так и для инновационного развития любого предприятия, занимающегося производством гофрокартона и тары на его основе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Данилевский В.А. Упрочненный гофрированный картон // Тара и упаковка. 2005. № 5. С. 42–43.

2. *Ефремов Н.Ф., Васильев А.И., Хмелевский Г.К.* Упаковка из гофрокартона. М.: МГУП, 2004. 394 с.

3. *Кушнерев В.Н.* Современные тенденции развития производства упаковки из гофрокартона // Материалы II Междунар. науч.-практ. конф. «Гофрокартон от сырья до печати», СПб., 24-25 апр. 2008. С. 20–26.

4. Научные основы переработки макулатуры / Д.А. Дулькин [и др.] // Лесн. журн. 2005. № 1-2. С. 104–122. (Изв. высш. учеб. заведений).

Поступила 31.08.10

M.F. Galikhanov, L.R. Musina

Kazan National Research Technological University

Change of Physical-And-Mechanical Properties of Corrugated Board Covered With Polyethylene

The method for coating the corrugated board with barrier material in the form of a polymer film is suggested; the influence of a barrier coating on physical-and-mechanical properties of corrugated board is analyzed.

Key words: Corrugated cardboard, polyethylene coating, lamination, extrusion, physical and mechanical properties.



КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

УДК 630*273

Т.Б. Сродных, Е.И. Лисина

Уральский государственный лесотехнический университет

Сродных Татьяна Борисовна окончила в 1976 г. Уральский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры ландшафтного строительства Уральского государственного лесотехнического университета. Имеет более 100 печатных работ в области озеленения городов Урала и Сибири и рекультивации нарушенных ландшафтов.

Тел.: (334) 262 97 84



Лисина Елена Ивановна окончила в 2009 г. Уральский государственный лесотехнический университет, аспирант. Имеет 4 печатные работы в области изучения структуры городских объектов озеленения.

E-mail: camomille@planet-a.ru



**ДИНАМИКА ВИДОВОГО СОСТАВА
И ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ НАСАЖДЕНИЙ БУЛЬВАРОВ
г. ЕКАТЕРИНБУРГА ЗА 13-ЛЕТНИЙ ПЕРИОД**

Проведен анализ состояния насаждений семи бульваров г. Екатеринбурга и изменения параметров посадок за 13-летний период. Показана динамика санитарного состояния насаждений на бульварах разного возраста.

Ключевые слова: видовой состав, городские посадки, санитарное состояние насаждений, плотность посадки.

Первые бульвары возникли в Европе в конце XVIII – начале XIX вв. Создавались они чаще всего на месте бывших городских укреплений при расширении территории города. Бульварное кольцо г. Москвы полностью сформировалось к 1860 г. [1]. В Екатеринбурге система бульваров была сформирована в начале XIX в. Она была представлена четырьмя бульварами: Верх-Исетским, Нуровским, Козьим и бульваром на Главном проспекте. Все бульвары, за исключением Козьего, сохранились, но изменились их планировка, функциональное назначение, видовой состав насаждений.

В современном Екатеринбурге в настоящее время создано 24 бульвара. По времени создания их можно разделить на три группы: 1 – исторические, возникшие в XIX в. (Верх-Исетский бульвар, бульвар на просп. им. Ленина); 2 – бульвары середины XX в. (в центре – ул. Мира и ул. Восточная; в жилом районе Уралмаш – ул. Культуры; в районе Химмаш – ул. Грибоедова и ул. Инженерная; в районе Сортировка (ул. Седова); 3 – бульвары конца XX в. (в Юго-Западном, относительно новом «спальном районе» – ул. Посадская и ул. Волгоградская). Недавно появились новые бульвары – им. Малахова и по ул. Татищева.

© Сродных Т.Б., Лисина Е.И., 2012

Согласно новому генеральному плану города, намечено создание бульваров вдоль Широкой речки и по ул. Расточной на Сортировке.

Обследование бульваров г. Екатеринбурга проводится нами с 1996 г. За этот период было проанализировано состояние насаждений семь бульваров, причем пять из них были обследованы дважды с интервалом в 10...13 лет: Верх-Исетский, на просп. им. Ленина, по улицам Мира, Посадской, Волгоградской. Это дало нам возможность проследить изменения, происходящие с течением времени в насаждениях бульваров: видовой состав, плотность посадок, динамика санитарного состояния растений [1].

Проводили подеревную инвентаризацию, санитарное состояние оценивали по 5-балльной шкале [3].

На примере трех бульваров, которые являются представителями трех групп по периодам их создания, в табл. 1 рассмотрено изменение видового состава и санитарного состояния преобладающих видов.

Следует отметить, что из пяти бульваров с повторным обследованием на четырех была проведена реконструкция: на самом старом Верх-Исетском бульваре – практически полная; по просп. им. Ленина – постепенная, частичная в несколько этапов и еще не закончена; по улицам Мира и Посадской – частичная с выборкой деревьев и кустарников неудовлетворительного санитарного состояния, уборкой порослевых деревьев, созданием нового газона и перепланировкой отдельных участков. По ул. Волгоградской только заменены старовозрастные насаждения (тополь бальзамический) и удалены деревья неудовлетворительного санитарного состояния.

Таблица 1

**Изменение видового состава и состояния насаждений
на бульварах г. Екатеринбурга за 13-летний период**

Бульвар, месторасположение (время создания)	1996–2000 гг.		2008–2009 гг.	
	Преобладающие виды	Санитарное состояние, балл	Преобладающие виды	Санитарное состояние, балл
Верх-Исетский (XIX в.)	Тополь бальзамический	3,3	Липа мелколистная	4,0
	Клен ясенелистный	3,1	Акация желтая	3,5
			Боярышник сибирский	4,5
Ул. Мира (середина XX в.)	Яблоня ягодная	4,5	Яблоня ягодная	3,7
	Липа мелколистная	4,2	Липа мелколистная	4,0
	Тополь бальзамический	3,7	Черемуха Маака	2,9
	Черемуха Маака	4,0	Ясень пенсильванский	3,4
Ул. Волгоградская (конец XX в.)	Тополь бальзамический	2,5	Тополь берлинский	3,4
	Тополь берлинский	3,8	Яблоня ягодная	2,8
	Яблоня ягодная	4,0	Груша	
	Липа мелколистная	3,9	уссурийская	4,8
	Черемуха Маака	3,5	Липа мелколистная	3,5

Данные табл. 1 свидетельствуют о том, что до реконструкции неудовлетворительное состояние имели в основном старовозрастные насаждения тополя бальзамического и клена ясенелистного. Состояние остальных видов было вполне удовлетворительным и даже хорошим. Повторная инвентаризация, спустя 8 ... 13 лет, показала, что состав насаждений после реконструкции бульваров изменился, так как были почти полностью убраны деревья неудовлетворительного состояния, а санитарное состояние оставшихся значительно ухудшилось. Особенно хорошо это можно проследить на бульварах по улицам Мира и Волгоградской. Так, на ул. Мира состояние яблони ягодной ухудшилось на 0,8 балла, черемухи Маака – на 1,1 балла (различия статистически достоверны); на ул. Волгоградской состояние тополя берлинского – на 0,4 балла, яблони ягодной – на 1,2 балла (различия статистически достоверны).

Из всех рассматриваемых видов более устойчивой к антропогенному влиянию оказалась липа мелколистная, но она, как правило, располагается не по периметру бульвара, а в глубине или во втором ряду. Возможно, поэтому она имеет лучшее санитарное состояние.

Важным показателем при создании бульваров является плотность посадки. Она влияет на структуру бульвара, его эстетические качества и способность выполнять защитные и средообразующие функции. Немаловажной является и экономическая сторона вопроса. Выбор оптимального варианта плотности посадок – вопрос серьезный. По рекомендациям специалистов [2] в 60–90-е гг. XX в. плотность посадок для бульваров нечерноземной зоны составляла 330...350 шт./га деревьев и около 5000 шт./га кустарников, по новым рекомендациям [3] – соответственно 150...160 и 1200...1500 шт./га.

Данные табл. 2 свидетельствуют, что примерно такую или приближенную к таковой первоначальную плотность имели бульвары г. Екатеринбурга. После реконструкции плотность насаждений многих бульваров сократилась от 5...20 до 200 %. Хотя по новым рекомендациям [4] плотность посадок деревьев на бульварах сокращена до 150...160 шт./га, но, на наш взгляд, она низка и даже при наличии живых изгородей вряд ли будет способна защитить отдыхающих на бульваре от пыли и газа. Возможно, плотность посадок после реконструкции (220...230 шт./га) и будет оптимальной для бульваров нашего региона, но следует провести детальные исследования и наблюдения для окончательных выводов.

Таблица 2

**Динамика плотности посадок и ассортимент видов
на бульварах г. Екатеринбурга за 13-летний период**

Бульвар, месторасположение	Плотность посадок, шт./га			
	1996–2000 гг.		2008 г.	
	Деревья	Кустарники	Деревья	Кустарники
Просп. им. Ленина	350	Не опр.	316 (западная часть)	Не опр.
ВИЗ-бульвар	312	Не опр.	100	5000
Ул. Мира	220	283	183	88
Ул. Посадская	233	107	217	192
Ул. Волгоградская	294	47	290	24
Ул. Грибоедова	348	Нет	245	Нет
Ул. Седова	Не опр.	Не опр.	228	1322

Таким образом, наши исследования показали, что бульвары г. Екатеринбурга, созданные в разные периоды, либо претерпели реконструкцию (некоторые дважды), либо нуждаются в ней. Причем наиболее старые бульвары (исторические) имеют интервал между второй и третьей реконструкцией 50...70 лет, а бульвары, созданные в середине XX в., – 40 лет от создания до проведения работ по реконструкции, более поздние (например, бульвар по ул. Волгоградской) – примерно 20 лет. Первая замена деревьев на этом бульваре произошла уже через 20 лет, причем меняли не только старовозрастные (тополь бальзамический), но и довольно молодые посадки (черемуха Маака, береза повислая, груша уссурийская, рябина обыкновенная). Это связано с тем, что влияние неблагоприятных факторов среды на городские зеленые насаждения все усиливается, что особенно ощутимо в начале XXI в. и обусловлено, в первую очередь, резким увеличением количества автотранспорта.

Для улучшения состояния насаждений и их сохранности на бульварах городов Среднего Урала требуется:

- проводить мониторинг на бульварах с интервалом 10 лет;
- тщательно подбирать ассортимент видов при создании объектов в наиболее неблагоприятных в экологическом плане районах города, правильно размещая растения на территории объекта;
- устанавливать обоснованную оптимальную плотность посадок растений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кругляк В.В., Карташова Н.П. Состояние насаждений в городской среде Воронежа // Лесн. журн. 2009. № 5. С. 40–43. (Изв. высш. учеб. заведений).
2. Молева Н.И. Первый бульвар. Городское хозяйство Москвы. М., 1977. 160 с.
3. Теодоронский В.С. Методические указания по прохождению учебной практики специализации «Озеленение городов и населенных мест»: метод. указания. М., 1983. 30 с.
4. Теодоронский В.С. О мониторинге зеленых насаждений на объектах озеленения Москвы (к итогам работ с 1997 г. по 2007 г.) // Проблемы озеленения крупных городов. М.: Прима, 2007. Вып. 12. С. 18–24.

Поступила 25.05.10

T.B. Srodnykh, E.I. Lisina
The Ural State Forest Engineering University

Dynamics of Species Composition and Basic Parameters of Plants on Yekaterinburg Boulevards Within a 13-Year Period

Analysis of plants on seven boulevards of Yekaterinburg and changes in their parameters within a 13-year period has been carried out. Dynamics of sanitary state of boulevard plants ranging in age is shown.

Key words: boulevard, sanitary state of plants, planting density.
