

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

---

АРХАНГЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИЗВЕСТИЯ  
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ  
ЗАВЕДЕНИЙ

---

# *Лесной журнал*

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

4

2009

ИЗДАТЕЛЬ – АРХАНГЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Главный редактор – д-р техн. наук, проф. **А.Л. Невзоров**  
Заместители главного редактора:  
д-р хим. наук, проф. **О.М. Соколов**, д-р экон. наук, проф. **Е.С. Романов**

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

д-р хим. наук, проф. **А.М. Айзенштадт**, д-р геогр. наук, проф. **А.С. Алексеев**, д-р техн. наук, проф. **Е.Д. Гельфанд**, д-р техн. наук, проф. **А.А. Камусин**, д-р экон. наук, проф., акад. РАСХН **Н.И. Кожухов**, д-р техн. наук, проф. **В.И. Комаров**, д-р техн. наук, проф. **В.С. Куров**, канд. техн. наук, проф. **Н.В. Лившиц**, д-р с.-х. наук, проф. **Р.Н. Матвеева**, д-р техн. наук, проф. **В.И. Мелехов**, д-р с.-х. наук, проф. **М.Д. Мерзленко**, д-р биол. наук, проф. **Е.Г. Мозолевская**, д-р техн. наук, проф. **Д.Г. Мясичев**, д-р с.-х. наук, проф. **Е.Н. Наквасина**, канд. с.-х. наук, доц. **О.А. Неволин**, д-р техн. наук, проф. **А.Н. Обливин**, д-р техн. наук, проф. **А.В. Питухин**, д-р хим. наук, проф. **Д.А. Пономарев**, д-р с.-х. наук, проф. **Е.М. Романов**, д-р с.-х. наук, проф. **В.П. Рябчук**, д-р техн. наук, проф. **Э.Н. Сабуров**, д-р биол. наук, проф. **Е.Н. Самошкин**, 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 техн. наук, проф. **В.А. Суслов**, д-р техн. наук, проф. **Ф.Х. Хакимова**, д-р техн. наук, проф. **В.Я. Харитонов**, д-р с.-х. наук, проф. **А.И. Чернодубов**, д-р с.-х. наук, проф. **Г.А. Чибисов**, д-р техн. наук, проф. **Ю.А. Ширнин**, проф. **Х.-Д. Энгельманн**

Ответственный секретарь – заслуженный работник культуры РФ **Р.В. Белякова**

---

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

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ  
«ЛЕСНОЙ ЖУРНАЛ» № 4

Редакторы Н.П. Бойкова, Л.С. Окулова  
Компьютерная верстка О.В. Деревцовой  
Перевод Н.Т. Подражанской  
Графическое оформление О.А. Томиловой

---

Сдан в набор 10.07.2009. Подписан в печать 07.09.2009. Заказ № 173  
Форм. бум. 70×108 1/16. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 12,77. Усл. кр.-отт. 12,77.  
Уч.-изд. л. 16,351. Тираж 1000 экз.  
Архангельский государственный технический университет

---

Адрес редакции: 163002, г. Архангельск, наб. Сев. Двины, 17,  
тел./факс: (818-2) 28-76-18, тел. 21-89-01  
e-mail: forest@agtu.ru http://www.lesnoizhurnal.ru

---

Издательство Архангельского государственного технического университета  
163002, г. Архангельск, наб. Сев. Двины, 17



## СОДЕРЖАНИЕ

*ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО*

- Л.М. Пахучая.* Лесоводственная эффективность гидромелиорации темнохвойных с участием кедра сибирского насаждений на крайнем северо-востоке европейской части России..... 7
- М.Д. Евдокименко.* Пирогенная дигрессия лиственничников Забайкалья и Северной Монголии..... 12
- Н.И. Роженцова.* Проверка достоверности прогнозов таксационных характеристик древостоев при проведении рубок промежуточного пользования 19
- Л.В. Зарубина, В.Н. Коновалов.* Особенности сезонной динамики пигментов в листьях растений сосняка кустарничково-сфагнового..... 24
- А.Г. Гутаев, Г.И. Сидоренко.* Анализ углеродного баланса Республики Карелия и роль лесного комплекса..... 33
- М.Г. Романовский, С.Н. Тарханов, Р.В. Щекалев.* Подходы к описанию биоразнообразия равнинных лесов Европейской России..... 47
- В.А. Ананьев, С.И. Грабовик.* Рост и формирование березовых и березово-еловых древостоев после осушения и рубок..... 57
- С.А. Корчагов, С.Е. Грибов.* Влияние лесных пожаров на качественные показатели древесины сосны обыкновенной..... 64
- Г.А. Чибисов, В.А. Гуцин.* Лесоводственно-экономическая оценка промежуточного лесопользования на Европейском Севере..... 70

*ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ*

- Е.И. Бавбель, П.А. Лычик.* Обоснование размещения лесотранспортных сетей. 82
- В.Н. Шиловский, Г.Ю. Гольштейн.* Об исследовании параметрического отказа гидросистемы манипулятора бесчokerного трактора..... 89

*МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ*

- А.С. Торопов, С.А. Торопов, Е.В. Микрюкова.* Исследование пораженности древесины напенной гнилью..... 95
- С.П. Агеев.* Классификация и свойства энергетических характеристик лесопильных рам..... 100

*ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ*

- В.И. Комаров, Е.Ю. Ларина.* Расчет жесткости при изгибе волокнистых целлюлозно-бумажных материалов с учетом пластических деформаций в сжатой зоне в плоскости листа..... 106
- В.Н. Леонтьев.* Оценка влияния технологических параметров производства бумаги на показатели качества печати..... 111
- А.Н. Грачев, Р.Г. Сафин, Р.Г. Хисматов, А.А. Макаров.* Экспериментальные исследования скорости убыли массы древесины в процессе быстрого абляционного пиролиза..... 116
- Н.Г. Чистова, Ю.Д. Алашкевич.* Подготовка древесного волокна в производстве древесноволокнистых плит..... 123

---

<i>Н.Г. Чистова, Ю.Д. Алашкевич. Оптимизация процесса размола в производстве древесноволокнистых плит.....</i>	129
<i>ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА</i>	
<i>Н.М. Большаков. Новый подход к лесопользованию.....</i>	133
<i>ИСТОРИЯ НАУКИ</i>	
<i>В.А. Бугаев, М.П. Чернышов. Достойное служение лесному делу.....</i>	140
<i>ЮБИЛЕИ</i>	
<i>Ректорат Архангельского государственного технического университета, редколлегия и редакция «Лесного журнала». Юбиляры «Лесного журнала».</i>	143

---





## CONTENTS

## FORESTRY

- L.M. Pakhuchaya.* Silvicultural Efficiency of Soil Improvement in Dark Coniferous Stands with Siberian Cedar in the High Northeast of Russian European Part. .... 7
- M.D. Evdokimenko.* Pyrogenic Digression of Larch Forests of Transbaikalia and Northern Mongolia ..... 12
- N.I. Rozhentsova.* Checking Forecasts Reliability for Stands Inventory Characteristics in Thinning..... 19
- L.V. Zarubina, V.N. Kononov.* Seasonal Dynamics' Peculiarities of Leaves' Pigments in Fruticulose-sphagnous Pine Stands..... 24
- A.G. Gutaev, G.I. Sidorenko.* Carbon Balance Analysis of Republic of Karelia and Forest Complex Role ..... 33
- M.G. Romanovsky, S.N. Tarkhanov, R.V. Shchekalev.* Approaches to Biodiversity Description of Plain Forests in European Russia..... 47
- V.A. Ananjev, S.I. Grabovik.* Growth and Formation of Birch and Birch-spruce Stands after Melioration and Cutting..... 57
- S.A. Korchagov, S.E. Gribov.* Effect of Forest Fires on Qualitative Characteristics of Scotch Pine Timber..... 64
- G.A. Chibisov, V.A. Gushchin.* Silvicultural-economic Assessment of Intermediate Forest Management in the European North..... 70

## WOODEXPLOITATION

- E.I. Bavbel, P.A. Lyshchik.* Substantiation of Forest-transport Networks Placement. 82
- V.N. Shilovsky, G. Yu. Golschtein.* On Investigation of Parametric Failure of Hydraulic System for Chokerless Tractor Manipulator..... 89

## MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOODSCIENCE

- A.S. Toropov, S.A. Toropov, E.V. Mikryukova* Investigation of Wood Affected by Stump Rot..... 95
- S.P. Ageev.* Classification and Properties of Energy Characteristics for Saw Frames. 100

## CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD

- V.I. Komarov, E.Yu. Larina.* Hardness Calculation in Bending Fiber Pulp-and-Paper Materials Considering Plastic Deformations in Sheet Plane..... 106
- V.N. Leontiev.* Evaluation of Technological Parameters of Paper Production on Printing Quality Characteristics..... 111
- A.N. Grachev, R.G. Safin, R.G. Khismatov, A.A. Makarov.* Experimental Research of Rate of Wood Mass Decrease in Quick Ablative Pyrolysis..... 116
- N.G. Chistova, Yu.D. Alashkevich.* Preparation of Wood Fiber for Fiberboard Production..... 123
- N.G. Chistova, Yu.D. Alashkevich.* Grinding Process Optimization in Fiberboard Production..... 129

## ECONOMICS AND MANAGEMENT

- N.M. Bolshakov.* New Approach to Forest Management..... 133

---

---

*HISTORY OF SCIENCE*

V.A. Bugaev, M.P. Chernyshov. Worthy Service to Forestry..... 140

*JUBILEES*

*Administration of Arkhangelsk State Technical University, Editorial Board and  
Editorial Staff of «Lesnoi Zhurnal». Jubilee Holders of «Lesnoi Zhurnal».... 143*

---

---



УДК 630\*321

*Л.М. Пахучая*

Сыктывкарский лесной институт  
С.-Петербургской государственной лесотехнической академии

Пахучая Людмила Михайловна родилась в 1956 г., окончила в 1989 г. Ленинградскую государственную лесотехническую академию, старший преподаватель кафедры лесного хозяйства Сыктывкарского лесного института СПбГЛТА. Имеет 25 печатных работ по вопросам влияния осушения на рост, состояние и возобновление насаждений на избыточно увлажненных лесных землях в Республике Коми.  
E-mail: pakhutchy@rambler.ru



### **ЛЕСОВОДСТВЕННАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГИДРОМЕЛИОРАЦИИ ТЕМНОХВОЙНЫХ С УЧАСТИЕМ КЕДРА СИБИРСКОГО НАСАЖДЕНИЙ НА КРАЙНЕМ СЕВЕРО-ВОСТОКЕ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ**

Приведены результаты исследования роста и возобновления темнохвойных с кедром сибирским насаждений, произрастающих на объектах осушительной гидромелиорации в Республике Коми.

*Ключевые слова:* гидромелиорация, кедр сибирский, Республика Коми.

Эффективность осушительной гидромелиорации в насаждениях с преобладанием сосны и ели достаточно хорошо исследована в различных районах России. В то же время влияние осушения на рост кедра, лиственницы, пихты изучено недостаточно [5]. Для крайних северо-восточных районов европейской территории России до настоящего времени нет подобных сведений.

В нашей работе приведены результаты исследований, выполненных в 1999 г. в Нижне-Омринском лесничестве Троицко-Печорского лесхоза Республики Коми на объекте, осушенном в 1989 г. Площадь осушения 268 га, в том числе покрытые лесом земли 213 га (сосновые насаждения 30, еловые 183 га), болота 55 га. Долгомошники занимают 82,2, сфагновые 17,8 % площади. В зависимости от типа леса расстояние между осушительными каналами составляет 100...200 м, их глубина колеблется от 0,8 до 1,5 м, проводящих – от 1,1 до 1,8 м. Основным водоприемником является р. Нюмылга. Объект гидромелиорации представлен хвойными с преобладанием ели насаждениями на торфяниках, мелких и средних по мощности торфяной залежи. В составе насаждений встречается кедр сибирский, что позволяет оценить реакцию этой породы на осушение в данных условиях.

Таблица 1

## Таксационная характеристика насаждений на объектах исследования

№ пробной площади	Элемент леса	Средний диаметр, см	Средняя высота, м	Состав	Относительная полнота	Запас общий, м <sup>3</sup> /га	Класс возраста	Класс бонитета по М.М. Орлову	Тип леса по В.Н. Сукачеву
1	Е	9,0	9,0	I 5Кд <sub>I</sub> 5Б	0,43	137	X	IV	Ельник долгомошный
	Кд Б	48,0 21,4	20,0 16,5	II 10Е	0,27 –	– –	– –	– –	
2	Е	11,6	10,0	I 10Кд <sub>I</sub>	0,10	52	VIII	V	То же
	Кд	36,0	17,8	II 5Е5Б, ед. Пх	0,88	–	–	–	
3	Б Пх	8,7 4,0	9,0 4,5		– –	– –	– –	– –	Ельник осоко-сфагновый
	Е	11,3	9,5	I 4Кд <sub>I</sub> 6Б	0,23	123	IX	Vб	
4	Б	17,1	15,0	II 10Е, ед. Кд <sub>II</sub>	0,60	–	–	–	Ельник сфагновый
	Кд <sub>I</sub> Кд <sub>II</sub>	28,0 6,4	16,0 5,0		– –	– –	– –	– –	
	Кд <sub>I</sub>	24,2	15,0	I 10Кд <sub>I</sub>	0,15	84	VIII	Vб	
5	Кд <sub>II</sub>	4,0	4,0	II 8Е2Б, ед. Кд <sub>II</sub>	0,43	–	–	–	Ельник долгомошный
	Е	9,2	9,0		–	–	–	–	
	Б	13,1	11,0		–	–	–	–	
	Е	12,1	11,0	I 5Кд <sub>I</sub> 5Б	0,25	202	IX	Vа	
6	Кд Б	22,2 21,4	14,5 16,5	II 10Е	0,88 –	– –	– –	– –	То же
	Е	10,8	9,5	I 9Е1Б, ед. Кд <sub>I</sub>	0,99	136	IX	Vб	
7	Кд Б	6,0 9,6	5,0 9,5		– –	– –	– –	– –	Ельник осоко-сфагновый
	Е	11,4	9,5	I 8Б2С	0,29	132	IX	Vб	
	Б	15,6	14,0	II 9Е 1Кд <sub>II</sub>	0,63	–	–	–	
	Кд С	9,3 13,5	7,0 12,0		– –	– –	– –	– –	

Окончание табл. 1

№ пробной площади	Элемент леса	Средний диаметр, см	Средняя высота, м	Состав	Относительная полнота	Запас об- щий, м <sup>3</sup> /га	Класс воз- раста	Класс боните- та по М.М. Орлову	Тип леса по В.Н. Сукачеву
8	Е	11,5	10,0	I 10Б	0,20	240	IX	Va	Ельник долго- мош- ный
	Кд	15,4	11,0	II Кд <sub>I</sub>	1,00	–	–	–	
	Б	15,4	14,0	9Е+Пх	–	–	–	–	
	Пх	10,1	9,0		–	–	–	–	

Примечание. Е – ель; С – сосна; Б – береза; Пх – пихта; Кд<sub>I</sub> – кедр первого (старшего) поколения; Кд<sub>II</sub> – кедр второго (младшего) поколения.

При исследовании использованы методические указания по учету эффективности лесосошения [4, 7]. Таксационное описание насаждений выполнено общепринятыми в лесной таксации методами [2, 6, 8], дендро- хронологические исследования – с учетом рекомендаций Т.Т. Битвинскаса [3]. Характеристика древостоев и естественного возобновления на пробных площадях приведена в табл. 1, 2. Анализ данных табл. 1 свидетельствует о том, что на опытных участках преобладают темнохвойные насаждения VIII–X классов возраста, IV–Vб классов бонитета. По составу это смешанные насаждения с преобладанием ели, по форме – простые и сложные (двухъярусные). Участие кедр в первом ярусе достигает 4...10 единиц, во втором не превышает 10 % по запасу или его вообще нет.

Анализ данных табл. 2 показывает, что в составе возобновления преобладает ель, меньше всего пихты (не более одной единицы). Береза отмечена на 75, кедр на 87, 5 % опытных участков. Участие кедр изменяется от 1 до 4 единиц, абсолютная густота от 0,1 до 1,8 тыс. шт./га. Густота возобновления кедр вблизи осушительных каналов ( в среднем 1,1 тыс. шт./га на пробных площадях 1, 2, 7, 8) существенно выше, чем на середине между ними (0,1 тыс. шт./га для пробных площадей 3–6).

Таблица 2

## Характеристика естественного возобновления на опытных участках

№ пробной площади	Состав	Густота, тыс.шт./га				
		Ель	Пихта	Кедр	Береза	Общая
1	7Е1Кд2Б	3,6 м	–	0,8 м	1,0 к	5,4
2	5Е2Кд3Б	2,5 м	–	0,8 м	1,6 к	4,9
3	9Е1Кд	0,8 с	–	0,1 м	–	0,9
4	6Е1Пх2Кд1Б	0,5 к	0,1 м	0,1 к	0,1 м	0,8
5	6Е4Б	1,0 к	–	–	0,7 м	1,7
6	7Е1Пх1Кд1Б	1,3 с	0,1 м	0,1 м	0,2 м	1,7
7	5Е4Кд1Б	1,3 с	–	0,9 м	0,3 к	2,5
8	4Е1Пх4Кд1Б	2,1 м	0,6 с	1,8 м	0,6 м	5,1

Примечание: м – мелкий подрост (высота до 0,5 м); с – средний (0,51 ...1,50 м); к – крупный (более 1,50 м).

Осушение положительно повлияло на возобновление кедр сибирского. В 75 % случаев преобладает его мелкий подрост, появившийся в основном после осушения. Этот вывод подтверждается результатами определения возраста подростка кедр. При давности осушения 10 лет его возраст равен 6 годам. Для ели густота подростка вблизи каналов составляет 2,1...3,6, на середине между ними 0,5...1,0 тыс. шт./га; общая густота возобновления соответственно 5,1...5,4 и 0,8...1,7 тыс. шт./га.

Результаты оценки направленности связи между радиальным приростом кедр за 5 лет, таксационными характеристиками деревьев, их удаленностью от осушительных каналов и периодом после осушения приведены в табл. 3. Анализ данных таблицы свидетельствует, что больший радиальный прирост наблюдается у деревьев меньшего диаметра и высоты, у молодых экземпляров и деревьев, расположенных ближе к осушительным каналам. С течением времени после осушения он увеличивается. Для оценки реакции деревьев на внешние воздействия целесообразно использовать прирост по площади поперечного сечения [1]. В результате множественного регрессионного анализа установлена положительная связь прироста поперечного сечения кедр ( $Y$ , см<sup>2</sup>) с диаметром в коре на высоте 1,3 м ( $X_1$ , см) и периодом после осушения ( $X_3$ , лет), отрицательная – с возрастом деревьев ( $X_2$ , лет) и расстоянием до ближнего канала ( $X_4$ , м). Эта зависимость может быть выражена следующим образом:

$$Y = 4,42 + 3,27 X_1 - 0,27 X_2 + 0,41 X_3 - 0,006 X_4 \\ (R = 0,75).$$

Согласно уравнению совместным влиянием таких показателей, как диаметр деревьев, их возраст, удаленность от каналов и период, прошедший после осушения, может быть объяснено более 55 % изменчивости прироста отдельных деревьев по площади поперечного сечения ( $R^2 = 0,552$ ). Следовательно, оно может быть использовано для предварительной оценки реакции кедр на влияние внешних факторов, в том числе таксационных характеристик и показателей, связанных с интенсивностью осушения участка.

Таблица 3

**Взаимосвязь между текущим периодическим приростом по радиусу за 5 лет ( $Y$ , см) и независимыми переменными ( $X$ )**

Независимая переменная $X$	Коэффициент уравнения $Y = AX + B$	
	$A$	$B$
Диаметр в коре, см	- 0,0004	0,772
Высота, м	- 0,0249	1,120
Возраст в год осушения, лет	- 0,0040	1,170
Продолжительность влияния осушения, лет	+0,0280	0,581
Расстояние до ближнего канала, м	- 0,0500	0,896

Таким образом, в результате исследований в Троицко-Печорском лесхозе Республики Коми впервые получены количественные оценки влияния осушения на рост леса и процессы естественного возобновления под пологом насаждений в крайних северо-восточных районах европейской территории России. Объекты исследования представлены хвойными насаждениями с кедром сибирским, включенным в Красную книгу Республики Коми. Установлено, что в результате регулирования водного режима методами гидромелиорации увеличилась общая густота естественного возобновления, в том числе хвойного, представленного елью, пихтой и кедром. Густота мелкого подроста и самосева кедра, появившегося в основном после осушения, на наиболее осушенных (близких к каналам) участках в 8–18 раз выше, чем на середине межканального пространства. Это позволяет считать, что регулирование водного режима методами гидромелиорации содействует сохранению кедра в районах его естественного произрастания в условиях избыточного увлажнения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев, А.С.* Мониторинг лесных экосистем [Текст]: учеб. пособие / А.С. Алексеев. – СПб.: СПбЛТА, 1997. – 116 с.
2. *Белов, С.В.* Лесоводство [Текст]: метод. указания к проведению учеб. практики / С.В. Белов. – Л.: ЛТА, 1973. – 40 с.
3. *Битвинская, Т.Т.* Дендроклиматические исследования [Текст] / Т.Т. Битвинская. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 172 с.
4. *Елпатьевский, М.П.* Методика определения эффективности лесосушения [Текст] / М.П. Елпатьевский. – Л.: ЛенНИИЛХ, 1971. – 19 с.
5. *Ефремов, С.П.* Пионерные древостои осушенных болот [Текст] / С.П. Ефремов. – Новосибирск: Наука, 1987. – 249 с.
6. *Моисеев, В.С.* Таксация леса [Текст] / В.С. Моисеев. – Л., 1970. – 258 с.
7. *Рубцов, В.Г.* Закладка и обработка пробных площадей в осушенных насаждениях [Текст] / В.Г. Рубцов, А.А. Книзе. – Л.: ЛенНИИЛХ, 1977. – 44 с.
8. *Третьяков, Н.В.* Справочник таксатора [Текст] / Н.В. Третьяков, П.В. Горский, Г.Г. Самойлович. – М.; Л.: Гослесбумиздат, 1952. – 853 с.

Поступила 08.05.07

*L.M. Pakhuchaya*  
Syktyvkar Forest Institute  
Saint-Petersburg State Forest Technical Academy

#### **Silvicultural Efficiency of Soil Improvement in Dark Coniferous Stands with Siberian Cedar in the High Northeast of Russian European Part**

The research results for growth and reproduction of dark coniferous stands with Siberian cedar growing on the objects of drainage soil improvement in the Komi Republic are provided.

Keywords: soil improvement, Siberian cedar, Republic of Komi.

УДК 630\*435

**М.Д. Евдокименко**

Институт леса им. Сукачева

Евдокименко Михаил Данилович родился в 1941 г., окончил в 1963 г. Брянский технологический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории лесоведения Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН. Имеет около 100 печатных работ в области лесной таксации, лесоведения и лесоводства.

E-mail: institute@forest.akadem.ru



## **ПИРОГЕННАЯ ДИГРЕССИЯ ЛИСТВЕННИЧНИКОВ ЗАБАЙКАЛЬЯ И СЕВЕРНОЙ МОНГОЛИИ**

Лиственничные леса Забайкалья и Монголии подвержены регулярному воздействию пожаров, сопровождающихся их последовательной дигрессией. Рассмотрена типичная схема процесса дигрессии и основные последствия: изреживание древостоев и смена пород, образование пустошей, понижение верхней границы леса.

*Ключевые слова:* лиственничники, лесные пожары, отпад деревьев, прирост, пирогенная дигрессия.

Лиственничные насаждения занимают более половины (54 %) покрытой лесом площади в Забайкалье и абсолютно доминируют в лесном покрове Северной Монголии. По степени пожароопасности они уступают только соснякам, поэтому подвержены регулярному воздействию пожаров [3, 7]. В соответствии с огромной территорией своего распространения лиственница лидирует среди остальных лесообразующих пород по выгораемой площади.

Большая часть таежных лиственничников произрастает на многолетней мерзлоте. Особенно высокая горимость этой категории регистрируется в течение сухой фазы климатического цикла, когда количество атмосферных осадков оказывается заметно ниже средне многолетней нормы на протяжении нескольких лет подряд. Если в благоприятные годы там бывает сыро и отмечаются признаки заболачивания, то в экстремальные периоды верхний слой мерзлоты деградирует, а надмерзлотные покровы надолго пересыхают [1].

Лесопирогенные аномалии повторяются с периодичностью 22...27 лет. Подобные ситуации характеризуются большой длительностью и слабой прерывистостью пожароопасного состояния, что способствует распространению пожаров. В мерзлотных лиственничниках Забайкалья, по мере глубокого пересыхания многослойного напочвенного покрова, состоящего из мхов с кустарничками, мощной лесной подстилки с моховым очесом и оторфованной дернины, пожары приобретают устойчивый характер, чреватый тяжелыми поражениями поверхностной корневой системы лиственниц.



Таблица 1

**Динамика текущего радиального прироста  
в 45-летнем лиственничнике разнотравном**

Диаметр деревьев, см	Прирост, мм, за отдельные периоды, лет, после пожара		
	0...5	6...10	11...15
Контроль (участок без пожара)			
4	3,6±0,4	3,1±0,4	1,4±0,2
6	4,0±0,4	3,1±0,2	1,7±0,2
8	4,0±0,3	3,2±0,2	1,6±0,2
10	4,4±0,2	4,5±0,3	2,5±0,2
12	5,9±0,2	6,0±0,3	3,8±0,3
14	6,4±0,3	6,7±0,3	4,4±0,2
16	7,8±0,4	7,4±0,7	4,6±0,5
18	9,3±0,5	9,9±0,5	6,0±0,5
20	10,1±0,6	10,1±0,8	6,6±0,8
22	–	–	–
24	9,8	9,5	6,2
Средний	5,2±0,2	4,9±0,2	3,8±0,1
Участок с пожаром слабой интенсивности			
4	3,1±0,3	2,6±0,2	1,4±0,1
6	4,0±0,6	3,1±0,6	2,3±0,5
8	4,8±0,2	4,6±0,3	3,1±0,2
10	5,6±0,3	5,4±0,3	3,9±0,3
12	6,9±0,2	6,2±0,3	4,4±0,2
14	7,6±0,3	7,3±0,3	5,2±0,3
16	8,8±0,3	8,3±0,5	6,0±0,4
18	9,4±0,5	9,6±0,4	7,3±0,3
20	11,5±0,6	11,7±0,8	7,9±0,6
22	11,6±0,5	10,4±0,6	6,7±0,6
24	13,3	12,5	8,4
Средний	6,6±0,2	6,2±0,2	4,4±0,2
Участок с пожаром средней интенсивности			
4	3,3±0,8	2,4±0,8	1,2±0,1
6	3,0±0,4	1,6±0,2	1,1±0,1
8	2,1±0,1	2,7±0,2	2,2±0,2
10	3,1±0,3	3,4±0,2	2,8±0,2
12	3,9±0,3	5,1±0,3	3,9±0,3
14	4,7±0,4	6,1±0,5	4,4±0,3
16	6,9±0,6	8,2±0,5	6,5±0,6
18	7,7±0,6	8,3±0,6	6,0±0,7
20	6,2±1,5	10,2±1,1	8,0±2,1
22	8,0±0,6	7,8±0,9	6,4±1,4
24	6,9	6,1	5,9
Средний	4,6±0,2	4,3±0,2	3,3±0,2

По поводу пожароустойчивости лиственничников в литературе приводятся противоречивые оценки, что по мнению И.П. Щербакова объясняется недостаточностью экспериментальных материалов для обоснованных заключений [6]. В нашей работе предпринята попытка дать количественную оценку пирогенной дигрессии лиственничников, произрастающих в специфических природных условиях: засушливый климат, многолетняя мерзлота, большая длительность пожароопасного сезона.

О жизненном состоянии любого лесного насаждения наиболее достоверно, на наш взгляд, свидетельствуют прирост и отпад деревьев. По динамике этих показателей можно судить о степени дигрессии древесных ценозов после поражения их различными экзогенными факторами, в том числе и пожарами. Процесс пирогенной дигрессии начинается с момента первого пожара в жизни конкретного поколения деревьев, т.е. еще в молодом возрасте, примерно соответствующем упомянутой периодичности лесопирогенных аномалий. Имеется в виду низовой пожар, сопровождающийся заметным нарушением состояния древесного ценоза. Степень повреждения древостоя устанавливается, прежде всего, по снижению относительной полноты. Критическим пределом в молодняках считается ее падение до 0,4...0,3, за которым следует полная деструкция насаждения.

Данные о приросте лиственниц после низового пожара слабой и средней интенсивности приведены в табл. 1. Монодоминантный лиственничник, произрастающий на северо-западном склоне Хэнтэя, крутизной 5...7°. Давность огневого воздействия составила 17 лет. Возраст древостоя в год пожара 28 лет. Прирост определяли только на живых деревьях, возраст которых ко времени наблюдений достиг 45 лет. Из приведенных в табл. 1 данных видно, что слабое огневое воздействие оказало положительное влияние на прирост деревьев, в то время как на участке с пожаром средней интенсивности на протяжении 15 лет после пожара происходило падение (около 12 %) радиального прироста.

Определенную роль в длительном ослаблении древостоя могло сыграть ухудшение водно-физических свойств холодной почвы вследствие прогорания лесной подстилки. В лиственничниках Монголии соответствующие исследования проведены Ю.Н. Краснощеквым [5]. Установлено ухудшение общей порозности и увеличение объемного веса верхних горизонтов. В то же время повышается суммарный расход влаги за счет усиленного притока тепла на обожженную поверхность почвы, активизирующего физическое испарение влаги. Все это сокращает диапазон продуктивной влаги, что при известной засушливости климата отрицательно сказывается на жизнеспособности и приросте поврежденных огнем деревьев на горных склонах.

По данным наших исследований, после интенсивных пожаров на многолетней мерзлоте резко увеличивается глубина сезонного протаивания почвы, что объясняется сгоранием теплоизолирующего напочвенного покрова [2], восстановление которого протекает медленно. Летний контраст почвенной температуры между пожарищем и контролем, наблюдаемый на глубине до 20 см, составлял в первые годы после пожара 6...8° (рис. 1).

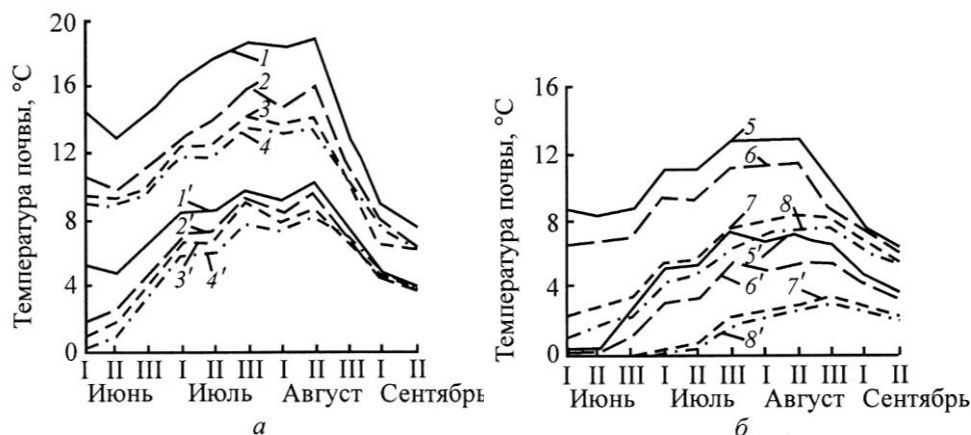


Рис. 1. Термический режим почв в лиственничнике на многолетней мерзлоте: а – верхние горизонты почвы; б – нижние горизонты; 1 – 8 – пожарище, 1' – 8' – контроль; 1, 1' – глубина 5 см; 2, 2' – 10; 3, 3' – 15; 4, 4' – 20; 5, 5' – 40; 6, 6' – 60; 7, 7' – 100; 8, 8' – 120 см

Поскольку на мерзлоте термический фактор лимитирует рост древесных растений, повышение температуры почвы, активизирующее деятельность не поврежденных огнем корневых систем, которые к тому же временно подпитываются послепожарным притоком элементов зольного питания, стимулирует продукционный процесс.

Наблюдения за пирогенными изменениями прироста мерзлотных лиственничников проведены нами в насаждениях Чарской котловины на севере Забайкалья, где мощность вечномерзлой толщи превышает 200 м. Объект исследования – чистый лиственничный древостой 135-летнего возраста, поврежденный низовым пожаром. Контроль подобран в аналогичном насаждении с противоположной, по отношению к пожарищу, стороны притрассовой автомобильной и железной дороги БАМ. Средняя высота древостоя 19 м, средний диаметр 24 см, полнота на контроле 0,6. Давность пожара 3 года.

Слабый низовой пожар способствовал повышению радиального прироста на 34 % по сравнению с контролем. На 23 % увеличился прирост и на участке с сильным пожаром, но там за три года в насаждении отмерло 38 % деревьев, что привело к снижению полноты древостоя до 0,4. На стволах выживших деревьев образовался высокий нагар (в среднем более 7 м), а на кронах были явные признаки термических повреждений, заметные по регенерированной хвое на полузасохших нижних ветвях. Временное повышение текущего прироста малочисленных деревьев, если принять во внимание естественно низкий уровень данного показателя в старом насаждении, не может компенсировать деструктивные пирогенные потери древостоя.

Естественное изреживание не нарушенных экзогенными факторами лиственничных древостоев протекает равномерно. Отпад образуется из отставших в росте особей, которые отмирают спонтанно в результате нормальной дифференциации деревьев по росту и развитию, детерминированной

их наследственностью, варьированием условий среды, ценотическим положением и конкуренцией. Пожары увеличивают численность ослабленных деревьев и резко нарушают среду их обитания. Характер и пределы пирогенных изменений в структуре ценозов проявляются многообразно.

Согласно полученным данным (табл. 2), существует прямая зависимость размеров отпада от интенсивности пожара. С ее повышением увеличивается как общее число отпавших деревьев, так и диапазон их толщины.

Наряду с понижением прироста и усиленным отпадом ослабленных пожарами деревьев, специфической особенностью пирогенной дигрессии лиственничников являются развитие фауности деревьев, поражение их стволовыми гнилями. Слабая устойчивость лиственницы к инфицированию дереворазрушающими грибами обусловлена анатомическими особенностями ее древесины, своеобразием смолоносной системы.

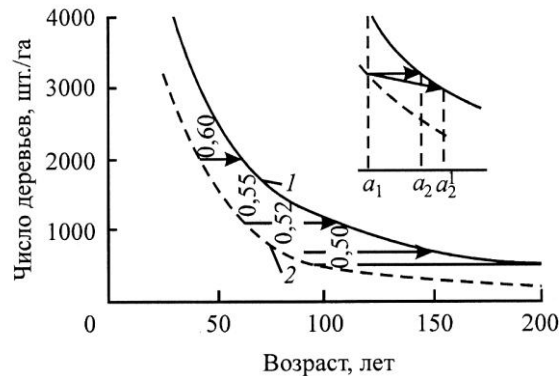
Крупные лиственницы защищены от подгаров и подсушин толстым слоем корки. Однако в ряде типов леса (ерниковый, багульниково-голубичный и др.) на многолетней мерзлоте, с мощной дерниной и торфянистым горизонтом, при любых пожарах неизбежны подгары корневых лап, у которых толщина защитного слоя корки составляет всего 1...2 см. Таких травм вполне достаточно для последующего возникновения напелных и стволовых гнилей. К возрасту рубки (120...140 лет), после нескольких пожаров, товарность мерзлотных лиственничников снижается до третьего или, в лучшем случае, до второго класса. В пирогенных сосняках снижение товарности до второго класса происходит к 180...200-летнему возрасту.

Таблица 2

**Послепожарный отпад деревьев по ступеням толщины  
в 42-летнем лиственничнике разнотравном**

Ступени толщины	Отпад, %, деревьев при интенсивности пожара			Контроль
	высокой	средней	слабой	
2	100	100	57	32
4	100	100	32	15
6	90	54	17	2
8	84	40	7	–
10	53	28	–	–
12	37	10	–	–
14	25	5	–	–
16	18	–	–	–
18	12	–	–	–
20	5	–	–	–
22	–	–	–	–
24	–	–	–	–
Древостой в целом	55	29	16	4

Рис. 2. Возрастная динамика числа деревьев в нормальных (1) и пироженных (2) лиственничниках (стрелками обозначены потенциальные интервалы времени, необходимые для восстановления нормальной полноты и густоты, цифрами 0,60 ... 0,50 – относительная полнота пироженных древостоев)



Следует заметить, что в названных типах леса после устойчивых пожаров, когда горение внедряется в глубь органического субстрата, отпад деревьев приобретает особенно разрушительный характер с последующим массовым вывалом деревьев под действием сильных ветров. Ерниковый тип леса попадает в категорию повышенного риска. Ценогические позиции этих лиственничников крайне неустойчивы, что приводит к их частой смене ерниками.

На горных склонах, где нет мощной дернины с торфянистым горизонтом, корневые системы реже повреждаются пожарами. Это несколько снижает и опасность поражения древостоев гнилями. Однако скопления опада в перегущенных биогруппах, а также густой подлесок из пожароопасных кустарников (кедровый стланник, рододендрон даурский), создают предпосылки для усиления интенсивности горения с высокой вероятностью появления огневых травм на древесных стволах.

Обобщенную схему пироженной дигрессии лиственничников, соответствующую типичному пирологическому режиму, иллюстрирует рис. 2, где сопоставлена возрастная динамика числа деревьев и полноты древостоев в пироженных лиственничниках Прибайкалья (данные Н.Н. Гусева) и в ненарушенных лиственничных насаждениях (по Б.Н. Тихомирову), относящихся к характерному третьему классу бонитета [4].

Существенное падение полноты 20...30-летнего древостоя после первого низового пожара может быть восполнено в течение 10...15 лет (обозначено стрелками на рис. 2), если сохраняется нормальный темп прироста оставшихся жизнеспособных деревьев, численность которых составляет в указанном возрасте 3...4 тыс. шт. на 1 га. На компенсацию подобного ущерба от повторного пожара, вероятного при обычной пожарной обстановке в среднем возрасте, понадобится уже 30...40 лет.

Представим в общем виде временной интервал  $i$  на послепожарное восстановление нормальной полноты древостоя:

$$i = a_2 - a_1 + \Delta a,$$

где  $a_1$  – возраст, в котором древостой был поврежден пожаром;

$a_2$  – возраст, соответствующий данной густоте или полноте при естественном (беспожарном) изреживании древостоев;

$\Delta a$  – поправка на естественное изреживание пирогенного древостоя в период от  $a_1$  до  $a_2$ .

Длительность периодов восстановления полноты увеличивается с возрастом в геометрической прогрессии, поскольку по мере старения древостоев неизбежно снижается их прирост. Для спелых и перестойных насаждений анализируемый процесс имеет лишь гипотетическое значение. Более вероятно появление нового поколения (второй ярус) там, где почвенно-экологические условия благоприятствуют возобновлению лиственницы, а в иной обстановке – смена пород или образование пустошей.

Интенсивные пожары в лиственничниках, произрастающих во влагообеспеченных районах байкальского побережья, инициируют их смену насаждениями лиственных пород. На многолетней мерзлоте высока вероятность смены ерниками. Эпизодические интенсивные пожары в подгольцовых лиственничных редколесьях с кедровым стлаником, приуроченные к засушливой фазе климатических циклов, приводят к понижению верхней границы леса.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Евдокименко, М.Д. Пирогенные аномалии в лесах Забайкалья и их прогнозирование [Текст] / М.Д. Евдокименко // География и природные ресурсы. – 2000. – № 4. – С. 64–71.
2. Евдокименко, М.Д. Послепожарная динамика микроклимата и гидротермического режима мерзлотных почв в лиственничниках Станового хребта [Текст] / М.Д. Евдокименко // Сибирский экологический журнал. – 1996. – № 1. – С. 73–79.
3. Евдокименко, М.Д. Потенциальная пожароопасность лесов в бассейне оз. Байкал [Текст] / М.Д. Евдокименко // Лесоведение. – 1991. – № 5. – С. 14–25.
4. Козловский, В.Б. Ход роста основных лесообразующих пород СССР [Текст] / В.Б. Козловский, В.М. Павлов. – М.: Лесн. пром-сть, 1967. – 327 с.
5. Краснощеков, Ю.Н. Почвозащитная роль горных лесов бассейна оз. Байкал [Текст] / Ю.Н. Краснощеков. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. – 224 с.
6. Лесные пожары в Якутии и их влияние на природу леса [Текст] / И.П. Щербаков [и др.]. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1979. – 224 с.
7. Yevdokimenko, M.D. Fire-induced transformations in the productivity of light coniferous stands of the trans-baikal region and mongolia [Text] / M.D. Yevdokimenko // Fire in Ecosystems of Boreal Eurasia. – Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers, 1996. – P. 211–218.

Поступила 14.02.08

*M.D. Evdokimenko*

Institute of Forest named after V.N. Sukhachyov

#### **Pyrogenic Digression of Larch Forests of Transbaikalia and Northern Mongolia**

Larch forests of Transbaikalia and Northern Mongolia are regularly exposed to fires accompanied by their sequential digression. The standard scheme of the digression process and possible consequences are analyzed: thinning of stands and succession, heathland formation, lowering of upper forest border.

Keywords: larch forests, forest fires, trees attrition, increment, pyrogenic digression.

УДК 630\*308

**Н.И. Роженцова**

Марийский государственный технический университет

Роженцова Наталья Игоревна родилась в 1978 г, окончила в 2001 г. Марийский государственный технический университет, старший преподаватель кафедры информатики МарГТУ. Имеет более 10 печатных работ в области технологии и оборудования лесопромышленных производств.

E-mail: nata\_roz@mail.ru



### **ПРОВЕРКА ДОСТОВЕРНОСТИ ПРОГНОЗОВ ТАКСАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДРЕВОСТОЕВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РУБОК ПРОМЕЖУТОЧНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ**

Апробирована методика прогнозирования таксационных показателей сосновых древостоев, проверены ее достоверность и возможность применения в реальных насаждениях.

*Ключевые слова:* таксационные показатели древостоев, рубки промежуточного пользования, закон распределения, корреляция.

Рубки промежуточного пользования – одно из важнейших мероприятий по улучшению породного состава, повышению устойчивости насаждений, увеличению размеров лесопользования с единицы площади, усилению средообразующих, защитных и водоохраных функций леса. Они заключаются в периодической вырубке части деревьев с момента образования насаждения и заканчиваются за 10...20 лет до возраста главной рубки.

В зависимости от вида каждая рубка соответствует определенному возрасту древостоя; например, в хвойном насаждении: рубка осветления – молодняк до 10 лет, прочистки – 11...20 лет, прореживания – 21...40 лет, проходная рубка – 41 год и более. В связи с этим, лесопользователям было бы важно и удобно иметь для каждого конкретного выдела рациональную программу рубок промежуточного пользования на весь период выращивания древостоя, где будет указано количество приемов рубок (разреживания), возраст древостоя на очередном приеме или год рубки и интенсивность его выборки.

Для построения подобного плана рубок была предложена методика [3], согласно которой выполняются расчеты таксационных показателей вырубаемой и оставляемой частей древостоя и осуществляется их прогнозирование для оставшейся его части после рубки (разреживания).

Данная методика прошла опробацию на участках лесного фонда Санчурского лесхоза Кировской области. В сосняках были выбраны выдела разного размера с древостоями в возрасте от молодняков и до главной рубки, на которых проводились рубки промежуточного пользования с количеством приемов от 1 до 5. По материалам лесоустройств и лесорубочных билетов были собраны таксационные характеристики этих выделов и объемы заготовленной в них древесины в годы рубок. Методика сбора информации на примере выдела № 15 А (квартал № 16) представлена в табл. 1 (лесные культуры 1939 г., посадка ручная).





Таблица 2

**Сопоставление реальных (практических) и полученных  
по методике прогнозирования (теоретических) таксационных данных**

№ квартала (выдела)	Возраст, лет, древостоя, в котором проводилось		Запас, м <sup>3</sup>		Густота, шт./га		Диаметр, см	
			расчетный	по материалам лесоустройства	расчетная	по материалам лесоустройства	расчетный	по материалам лесоустройства
	лесоустройство	изреживание						
16(43)	52	–	260	260	1000	1034	18	18
	62	66	274	300	769	723	21	22
	75	73	244	270	267	258	29	32
16(44)	42	–	220	220	1316	1316	16	16
	52	56	265	250	939	1050	19	18
	65	–	289	260	433	572	26	22
61(3)	15	19	60	60	6805	6800	6	6
	25	–	145	130	2341	2211	11	12
62(24)	50	–	240	240	1000	1000	18	18
	60	71	268	220	749	749	21	20
	73	–	299	250	385	412	28	26
63(14)	42	54	190	190	898	898	18	18
	52	62	253	250	695	531	21	24
	65	67	277	300	274	531	30	24
63(11)	85	93	250	250	181	181	36	36
	95	107	257	290	118	160	42	40
	108	–	190	150	47	54	53	50

Расчеты были выполнены с использованием программы, написанной в среде VBA и Mathcad. Затем полученные результаты сопоставляли с реальными данными из материалов лесоустройств и лесорубочных билетов (табл. 2).

На основании данных табл. 2 непосредственно для каждого выдела были построены графики (рис. 1) зависимости прогнозируемых (теоретических) и реальных (практических) значений запаса, диаметра и густоты от возраста древостоя.

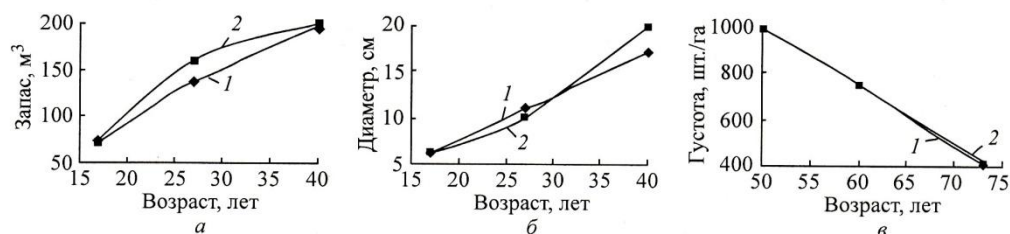


Рис. 1. Изменение прогнозируемых (1) и реальных (2) значений запаса (а), диаметра (б) и густоты (в) древостоя от его возраста

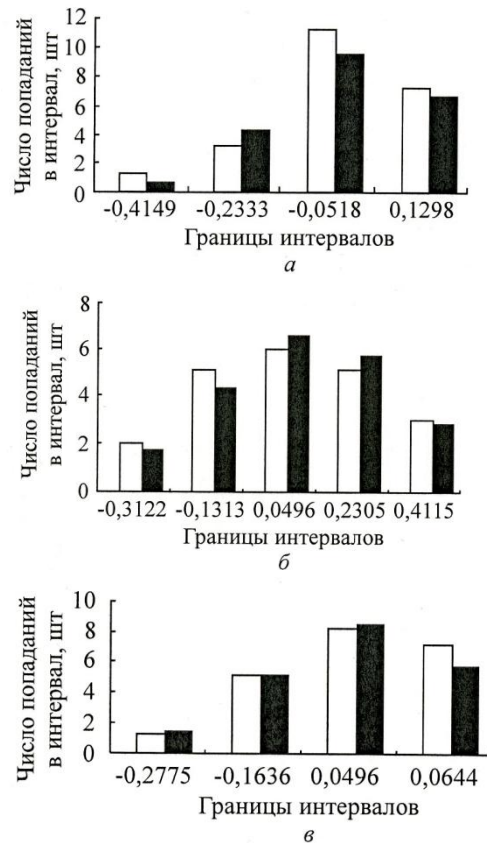


Рис. 2. Гистограммы распределения относительной погрешности определения запаса (а), диаметра (б) и густоты (в) древостоя: □ – экспериментальные данные; ■ – аппроксимированные диаграммы; а –  $\bar{x} = -0,016$ ,  $\sigma^2 = 0,026$ ,  $\chi^2 = 1,007$ ,  $\chi_{кр}^2 = 6,635$ ,  $\chi^2 < \chi_{кр}^2$ ; б –  $\bar{x} = -0,04$ ,  $\sigma^2 = 0,014$ ,  $\chi^2 = 0,331$ ,  $\chi_{кр}^2 = 9,21$ ,  $\chi^2 < \chi_{кр}^2$ ; в –  $\bar{x} = 0,09$ ,  $\sigma^2 = 0,058$ ,  $\chi^2 = 0,378$ ,  $\chi_{кр}^2 = 6,635$ ,  $\chi^2 < \chi_{кр}^2$

Дальнейшие исследования были направлены на проверку достоверности полученных в результате моделирования запаса, диаметра и густоты. Были найдены относительные погрешности каждого из анализируемых параметров, коэффициенты корреляции и определено их распределение [1, 2].

На рис. 2 приведены гистограммы распределения относительных погрешностей прогнозирования запаса, диаметра и густоты древостоя. Проверка закона распределения в соответствии с критерием Пирсона ( $\chi^2$ ) позволяет сделать вывод, что гипотеза о нормальном распределении относительной погрешности не отвергается при уровне значимости  $\alpha = 0,01$  для всех исследуемых величин.

Для исследуемого запаса доверительный интервал относительной погрешности при уровне значимости  $\alpha = 0,01$  составляет от  $-0,116$  до  $0,080$ , для диаметра – от  $-0,115$  до  $0,030$ , для густоты – от  $-0,05$  до  $0,240$ , что свидетельствует о соответствии прогнозируемых значений реальным данным лесоустройства, поскольку нулевое значение находится в пределах этих интервалов.

Статистический анализ выделов позволил получить корреляционные зависимости между прогнозируемыми и реальными значениями запаса,

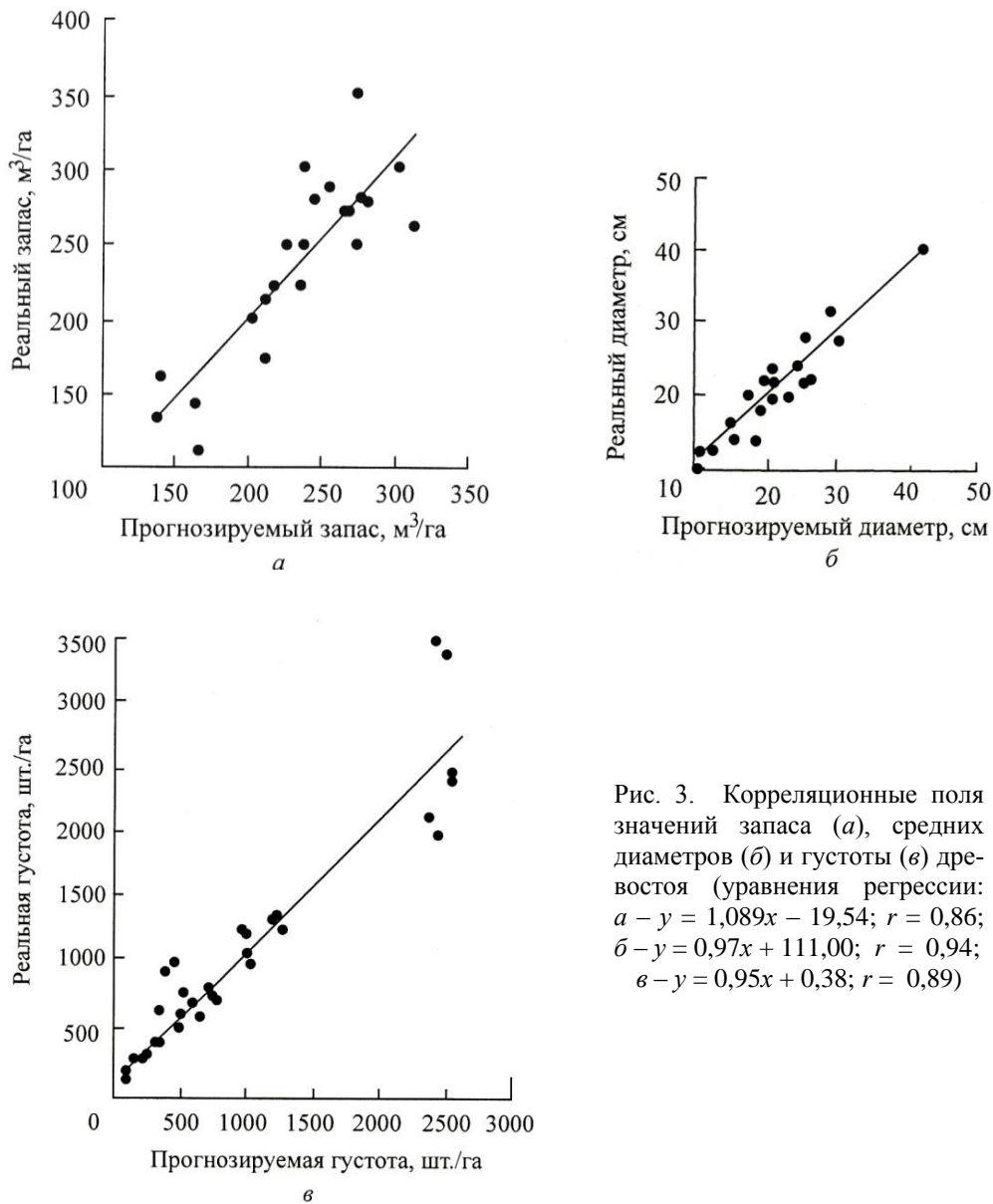


Рис. 3. Корреляционные поля значений запаса (*a*), средних диаметров (*б*) и густоты (*в*) древостоя (уравнения регрессии:  $a - y = 1,089x - 19,54; r = 0,86$ ;  $б - y = 0,97x + 111,00; r = 0,94$ ;  $в - y = 0,95x + 0,38; r = 0,89$ )

диаметра и густоты древостоя. На рис. 3 представлены корреляционные поля значений этих показателей (точки) и линии регрессии, коэффициенты для которых рассчитаны методом наименьших квадратов. Полученные данные свидетельствуют о хорошей сходимости результатов прогноза и эксперимента. Аппроксимация линий регрессии полиномами высших степеней показывает, что коэффициенты при аргументах второй и третьей степеней пренебрежимо малы, а невязки изменяются незначительно по сравнению с невязкой для линейной регрессии.

Таким образом, проведенный анализ позволяет сделать вывод о достоверности прогнозирования запаса, диаметра и густоты древостоя при проведении рубок промежуточного пользования. Результаты прогноза можно использовать при выборе стратегии проведения этих рубок с оптимизацией по величине прибыли и объему заготавливаемой древесины.

Представленная методика и разработанная на ее основе [1] программа обеспечивают возможность прогнозирования таксационных показателей древостоев и может быть использована специалистами лесного комплекса для решения лесоводственных, технологических и экономических задач при планировании и проведении рубок промежуточного пользования на конкретных участках лесного фонда.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Колемаев, В.А.* Теория вероятностей и математическая статистика [Текст]: учеб. пособие для экон. спец. вузов / В.А. Колемаев, О.В. Староверов, В.Б. Турундаевский; под ред. В.А. Колемаева. – М.: Высш. шк., 1991. – 400 с.
2. Статистическая обработка результатов экспериментов на микро-ЭВМ и программируемых калькуляторах [Текст] / А.А. Костылев [и др.]. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1991. – 304 с.
3. *Хлюстов, В.К.* Закономерности формирования древесного прироста [Текст] / В.К. Хлюстов. – Л.: ЛТА, 1991. – 319 с. – Деп. в ВИНТИ 09.10.91, № 3908 – 91.

Поступила 28.01.09

*N.I. Rozhentsova*  
Mari State Technical University

#### **Checking Reliability of Forecast for Stands Inventory Characteristics in Thinning**

The technique of forecasting inventory characteristics of pine stands is tested, as well as its reliability and possibility of using in the real stands.

Keywords: inventory characteristics of stands, thinning, distribution law, correlation.

---

Таблица 1

## Таксационные данные материалов лесоустройства, лесорубочных билетов и натуральных замеров

Год лесоустройства	№ выдела/площадь, га	Изреживаемая площадь, га	Рубка	Год рубки	Состав древесно-стоя	Возраст, лет	Высота, м	Диаметр, см	Класс возраста	Бонитет	Тип леса, тип условий местопроизрастания	Полнота	Запас на 1 га	Объем заготовленной древесины, м <sup>3</sup>
1954	15а/7,4	7,4	Прореживание	1962	10С	15	5	10	1	2	ск,с2	1,0	50	40,0
1968	25/6,6	6,6	Прореживание	1977	10С	29	13	16	2	1	ск,с2	0,8	150	105,8
1980	21/9,4	9,4	Проходная	1982	10С	41	16	18	3	1	ск,с2	0,9	220	198,0
1990	23/9,5	9,5	Проходная	2001 2002	10С	51	20	20	3	1	ск,с2	0,8	250	205,0 123,0
2003	28/8,6	–	–		10С	64	23	22	4	1	ск,с2	0,7	260	–

Примечания. 1. Подлесок – можжевельник, рябина; подрост – 10Е(25), 2 м, 2 тыс. шт./га; класс устойчивости – 1, проходимость – средняя, просматриваемость – средняя. 2. ск – сосняк кисличник, с2 – свежий сугрудок.

УДК 630\*581.174(470.11)

*Л.В. Зарубина<sup>1</sup>, В.Н. Коновалов<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Вологодская государственная молочнохозяйственная академия

<sup>2</sup>Архангельский государственный технический университет

Зарубина Лилия Валерьевна родилась в 1975 г., окончила в 1997 г. Архангельский государственный технический университет, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесоводства Вологодской государственной молочнохозяйственной академии. Имеет 20 печатных работ по экологии и физиологии осушаемых лесов, биологии рубок, вопросам минерального питания и др.  
Тел.: 8-921-684-31-56



Коновалов Валерий Николаевич родился в 1940 г., окончил в 1965 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии и защиты леса Архангельского государственного технического университета. Имеет 105 печатных работ в области эколого-физиологического обоснования эффективности лесосушения на Севере, подсоски и прижизненного просмоления древесины, применения минеральных удобрений в лесных экосистемах, способов рубок, изучения природы лесов Крайнего Севера, сезонного роста древесных пород и др.  
Тел.: (8182) 21-61-58



## **ОСОБЕННОСТИ СЕЗОННОЙ ДИНАМИКИ ПИГМЕНТОВ В ЛИСТЬЯХ РАСТЕНИЙ СОСНЯКА КУСТАРНИЧКОВО-СФАГНОВОГО**

Показана неоднозначная реакция пигментного комплекса отдельных видов и ботанических групп болотных растений на осушение.

*Ключевые слова:* болотные растения, пигменты, динамика, листопадные и вечнозеленые виды, осушение.

Состояние фонда пигментов в листьях растений служит одним из важных условий нормальной работы фотосинтетического аппарата. Считается, что уровень содержания пигментов в фотосинтезирующих органах может быть успешно использован в качестве индикатора, определяющего потенциальную фотосинтетическую продуктивность вида [6, 7], ежегодный атмосферный сток углерода [1, 8, 10], как показатель реакции вида на изменение экологических условий [7, 2]. В то же время еще В.Н. Любименко (1916 г.) указывал, что независимо от количественных колебаний содержание хлорофилла в листьях следует рассматривать как признак наследственный, свойственный виду или роду в целом. Наряду с этим установлено, что вечнозеленые растения обладают более низкой, чем листопадные, способностью к накоплению пигментов в листьях [5].

Изучение связи содержания пигментов с учетом длительности жизни листьев и уровнем стояния почвенной воды проведено нами в 1986 г. и 2002 г. в сосняке кустарничково-сфагновом (северная подзона тайги). Мелиоративные работы на объекте выполнены в 1988 г. системой открытых каналов с расстоянием 140 м между ними и глубиной 1,2 м. Опытный уча-

сток располагался в зоне интенсивного осушения (10...20 м от осушителей). Первые исследования были выполнены в 1986 г. перед началом лесомелиоративных работ, повторные – спустя 16 лет. Перед осушением возраст древостоя – 41 год, высота – 6,0 м, диаметр – 3,4 см, уровень почвенно-грунтовых вод – 7...17 см, освещенность под пологом леса на высоте исследуемых растений в околополуденные часы – 30,6 % от освещенности на открытом месте. За период действия осушения эти показатели составили соответственно 57 лет; 10,5 м; 10,0 см; 24...62 см и 16,0 %.

До осушения флористический состав живого напочвенного покрова был представлен преимущественно гигрофильными видами растений – вечнозелеными кустарничками, морошкой, небольшими синузиями осок. Проектное покрытие сфагновыми мхами составляло около 90 %. После осушения на прилегающей к осушителям территории к уже имеющимся видам добавились черника, плаун ползучий, массово-зеленые мхи, на микроповышениях – синузии кладоний. В травяном покрове значительно сократилась доля типичных влаголюбивых – осок и сфагнума.

Объектами наших исследований являлись наиболее представленные виды растений, принадлежащие к семействам *Pinaceae* (сосна обыкновенная – *Pinus silvestris* L.), *Betulaceae* (береза карликовая – *Betula nana* L.), *Vaccinaceae* (багульник – *Ledum palustre* L., кассандра – *Chamaedaphne coluculata* (L.) Moench, подбел – *Andromeda polifolia* L., голубика – *Vaccinium uliginosum* L., клюква – *Oxycoccus quadripetalus* Gilib., брусника – *Vaccinium vitisidaea* L.), *Empetraceae* (вороника – *Empetrum nigrum* L.), *Rosaceae* (морошка – *Robus chamaemorus* L.), *Sphagnaceae* (сфагнум магелланский – *Sphagnum magellanicum* Brid.), 1 отдел: *Bryophyta* (плеврозиум Шребера – *Pleurozium Schreberi*). Эти виды растений по длительности жизни листа подразделяются на 3 группы: исчезающие на зиму (морошка), листопадные (береза карликовая), вечнозеленые (сосна, вечнозеленые кустарнички, моховидные растения).

Содержание пигментов определяли в свежесобранном материале, составляя средний образец. Для сосны образцы хвои второго года отбирали от 3...5 деревьев, для представителей напочвенного покрова – от 10...20 растений, взятых из различных мест методом случайной пробы. Биологическая повторность – кратная 3-4, аналитическая – 2-3. Для изучения пигментов у сосны и вечнозеленых растений в течение года брали листья (хвою), закончившие рост, причем одной и той же генерации. У морошки и плодоносящих кустарничков содержание пигментов определяли в основные фенологические фазы: распускания листьев, цветения, плодоношения и перед осенним листопадом.

При изучении содержания пигментов использовали два метода: количественную бумажную хроматографию в модификации Д.И. Сапожникова с сотрудниками [6] и спектрофотометический [11].

В первом случае пигменты извлекали смесью этилового спирта с безводным ацетоном (1:3) с добавлением небольшого количества (на кончике скальпеля)  $MgCO_3$  или  $CaCO_3$ . Пигменты разделяли восходящим током растворителя на хроматографической бумаге Ленинградской фабрики № 2

марки «С». Растворителем служила смесь бензина, петролейного эфира и ацетона (17:5:7).<sup>\*</sup> Пигменты с бумажного носителя в растворимое состояние переводили с помощью серного эфира. Полученный элюат фотометрировали на фотоэлектроколориметре ФЭК-М. Концентрацию пигментов в растворе определяли по калибровочным кривым, построенным по стандартным растворам.

В спектрометрическом методе для извлечения пигментов использовали 96 %-й этанол. Концентрацию пигментов определяли на спектрофотометре СФ-46 и рассчитывали по специальным формулам.

Как показали наблюдения, климатические условия 1986 г., несмотря на затяжную весну, в целом были благоприятными для нормального роста и развития болотных растений. Однако в мае и начале июня на почве наблюдались заморозки, выпадали осадки в виде снега и мокрого снега, иногда устанавливался временный снежный покров. Температура воздуха в дневные часы редко поднималась выше 4...6 °С. Низкие температуры воздуха и почвы, избыток влаги вызвали задержку в развитии болотных растений. Из всех видов лишь у березы карликовой в конце мая на побегах появились первые молодые листья. Молодая хвоя на главном побеге сосны обозначилась лишь 4–6 июля, что на 1...2 нед. позже обычных сроков. К середине июня, после холодного периода, когда среднесуточная температура воздуха перешла через 10 °С, началась активная вегетация растений. У кустарничков начали разворачиваться вегетативные почки, появились первые листья. У морошки обозначились цветоносы и цветки. В дальнейшем погодные условия уже не препятствовали нормальному росту и развитию растений.

Согласно результатам метеонаблюдений, вегетационный период 2002 г. по количеству осадков и температуре воздуха был близок к средне-многолетней норме. Развитие болотных растений и прохождение у них основных фенологических фаз происходило в обычные сроки.

Как было установлено, исследуемые виды по содержанию и динамике накопления пигментов в листьях отличаются значительно (табл. 1). Это зависит от вида и группы, к которой растение принадлежит (листопадные или вечнозеленые). Содержание пигментов в расчете на единицу массы свежих листьев у разных видов варьирует от 186 до 3455 мг. Максимальное количество пигментов в листьях накапливает исчезающая на зиму морошка. Так, в июне–августе в свежих листьях этого растения содержится 1,30...2,63 мг хлорофиллов и 0,32...0,82 мг каротиноидов. У сосны хвоя второго года летом содержит 0,38...0,56 мг зеленых и 0,16...0,22 мг каротиноидных пигментов. Для сфагнового мха, напротив, характерно самое низкое наполнение пластидного аппарата головок гаметофитов пигментами (0,14...0,33 мг хлорофилла и 0,05...0,10 мг каротиноидов). Низкое содержание пигментов у него проявляется и более слабой по сравнению с другими видами растений способностью осуществлять фотосинтез [2] и ростовые

---

\* Оптимальные соотношения химических реагентов получены нами экспериментально.



процессы. Вересковые по содержанию пигментов занимают среднее между этими видами положение.

Известно, что способность растений накапливать определенное количество пигментов – свойство наследственное. Считается, что в листьях теневыносливых видов содержание хлорофилла выше, чем в светолюбивых [5]. Однако установлено, что способность к накоплению пигментов в листьях родственных видов интродуцированных в Крыму кустарников с различной продолжительностью жизни листа зависит не столько от степени «светолюбия» растений, сколько от принадлежности их к вечнозеленой или листопадной группе [4]. Авторы полагают, что низкий уровень содержания пигментов в листьях вечнозеленых видов является их наследственным свойством, которое может существенно изменяться в новых экологических условиях.

Таблица 1

**Содержание хлорофиллов и каротиноидов (мкг/г свежей массы)  
в листьях болотых растений**

Порядковый номер	Вид	Дата	Хлорофиллы				Каротиноиды				Всего
			<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a+b</i>	<i>a:b</i>	Каротин	Лютеин	Биолаксантин	Сумма	
Вечнозеленые											
1	Сосна обыкновенная	9.VI	231	153	384	1,51	50	61	46	157	541
		29.VII	342	216	558	1,58	64	91	65	220	778
		5.VIII	277	134	411	2,07	49	78	46	173	584
		3.IX	257	137	394	1,88	75	91	58	224	618
		20.I	238	164	402	1,45	96	135	0	232	634
2	Багульник	28.V	612	498	1110	1,36	84	140	91	315	1425
		29.VI	798	532	1330	1,50	131	178	113	422	1752
		29.VII	703	470	1173	1,50	128	171	80	379	1552
		26.VIII	685	387	1072	1,77	120	172	99	391	1465
		20.I	602	468	1070	1,29	104	181	104	389	1459
3	Подбел	28.V	660	535	1195	1,23	97	142	85	324	1519
		29.VI	855	557	1412	1,57	128	175	115	420	1832
		29.VII	672	410	1082	1,64	102	138	73	313	1395
		26.VIII	740	450	1190	1,64	123	169	85	377	1567
4	Кассандра	28.V	720	415	1135	1,73	104	183	125	412	1547
		29.VI	1054	806	1860	1,31	200	233	94	527	2387
		29.VII	814	506	1320	1,61	136	189	108	433	1753
		26.VIII	628	409	1037	1,54	107	168	84	359	1396
		20.I	510	376	886	1,36	109	206	72	387	1273
5	Клюква	29.VI	461	312	773	1,55	90	101	70	261	1034
		29.VII	550	416	966	1,32	98	121	76	295	1261
		3.IX	670	421	1091	1,59	93	165	84	342	1433
6	Сфагнум магелланский	29.VI	182	148	330	1,21	31	48	25	104	434
		29.VII	147	75	222	1,96	15	27	17	59	281
		3.IX	88	52	140	1,69	12	23	11	46	186

		Листопадные									
7	Бере- за кар- лико- вая	28.V	542	445	987	1,22	75	133	73	281	1268
		29.VI	876	508	1384	1,72	147	158	97	402	1786
		29.VII	812	630	1442	1,29	161	185	116	462	1904
8	Мо- рош- ка	26.VIII	636	468	1104	1,36	137	146	96	379	1483
		9.VI	864	495	1359	1,75	120	192	84	396	1755
		29.VII	151	112	2630	1,35	304	361	160	825	3455
9	Голу- бика	26.VIII	726	502	1228	1,45	113	142	65	320	1548
		29.VI	890	401	1291	2,22	109	141	88	338	1629
		29.VII	965	615	1580	1,57	161	180	122	463	2043
		26.VIII	1140	732	1872	1,56	165	220	93	478	2350

Результаты наших исследований также свидетельствуют о неоднородной скорости биосинтеза пигментов у отдельных видов болотных растений разных жизненных форм с различной продолжительностью жизни листьев. Так, сосна обыкновенная, имеющая древовидную жизненную форму, по содержанию пигментов существенно отличается от вечнозеленых вересковых кустарничков, несмотря на их общую принадлежность к группе вечнозеленых растений. Летом листья вечнозеленых кустарничков содержат в 2 раза больше пигментов, чем хвоя сосны. Аналогичная закономерность наблюдается и в группе растений с опадающими на зиму листьями (береза карликовая, морошка, голубика).

Г.В. Куликов и З.В. Иванцова [4] считают, что для установления существенных и статистически достоверных различий между сравниваемыми группами растений лучше сравнивать не абсолютные значения содержания хлорофилла и каротиноидов в листьях, а их отношение к сумме пигментов. Результаты проведенных нами расчетов свидетельствуют о сохраняющемся у растений различных ботанических групп и отдельных видов генетическом постоянстве соотношений пигментного состава несмотря на его сезонную изменчивость (табл. 2). Так, содержание хлорофилла *a* в общем составе пигментов колеблется от 38 до 55 %, хлорофилла *b* – от 22 до 35 %, каротиноидов – от 20 до 37 %. Среди каротиноидов наибольшей сезонной изменчивости подвержен лютеин (вариабельность 8,7...21,5 %). Виолаксантин у некоторых видов растений (сосна) в зимние месяцы вообще исчезает и появляется лишь с наступлением теплого периода. Каротин проявляет стабильность (4,5...8,8 %), соотношение хлорофиллов *a* и *b* изменяется в пределах 1,22...2,22, а зеленых и каротиноидных пигментов – 2,2...3,7.

В сезонной изменчивости пигментов наблюдается определенная закономерность, связанная с возрастными изменениями листьев и фенофазами развития растений. Так, в листьях ягодниковых кустарничков и полукустарничков (голубика, клюква) минимальное количество всех пигментов отмечено в июне, в период листообразования и формирования репродуктивных органов. В этот период формирование фонда зеленых пигментов у этих видов идет со значительным превышением хлорофилла *a* (соотношение хлорофиллов *a* и *b* составляет 1,6...2,2), из каротиноидов преобладает лютеин. Максимальное количество пигментов в листьях этих растений содержится в

фазе массового созревания плодов (август-сентябрь). У растений голубики в этот период из каротиноидов наиболее активно накапливаются лютеин и каротин. Сезонные изменения содержания хлорофиллов и каротиноидов в листьях листопадной березы карликовой и исчезающих на зиму растений морошки характеризуются достаточно четко выраженной одновершинной кривой: минимум отмечен весной, в период разверзания вегетативных почек, и во время осеннего листопада. В листьях вечнозеленых кустарничков (багульник, кассандра, подбел) более высокая концентрация пигментов выявлена во время цветения (июнь). Зимой у этих видов содержание пигментов заметно ниже (в 1,3–2,0 раза). В это время особенно мало листья содержат хлорофилла *a*.

Таблица 2

**Соотношение хлорофиллов и каротиноидов (в процентах к сумме пигментов) в листьях болотных растений**

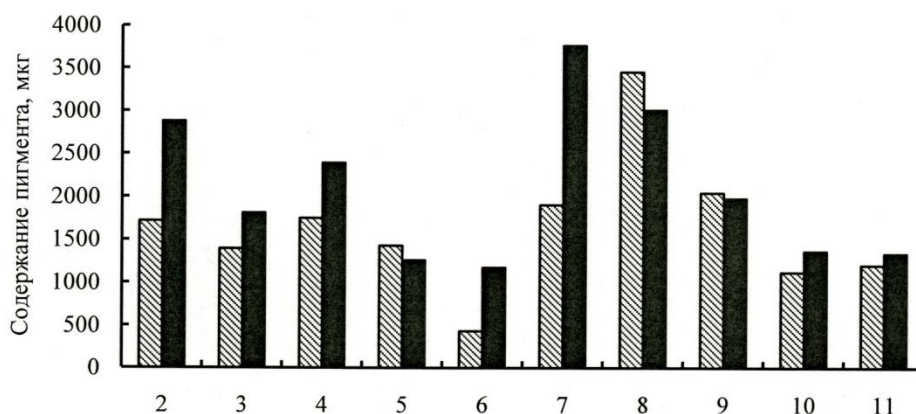
Порядковый номер	Вид	Хлорофиллы						Каротиноиды		
		<i>a</i>			<i>b</i>			минимальное	максимальное	среднее
		минимальное	максимальное	среднее	минимальное	максимальное	среднее			
Вечнозеленые										
1	Сосна	38	47	$\frac{42,6 \pm 1,8}{8}$	22	28	$\frac{25,4 \pm 1,4}{11}$	28	37	$\frac{32,1 \pm 1,9}{12}$
2	Багульник	41	47	$\frac{44,4 \pm 1,1}{5}$	27	35	$\frac{30,8 \pm 1,5}{5}$	22	27	$\frac{24,8 \pm 1,0}{8}$
3	Подбел	43	47	$\frac{45,9 \pm 1,0}{4}$	29	35	$\frac{32,2 \pm 1,8}{10}$	20	24	$\frac{23,1 \pm 1,0}{8}$
4	Кассандра	40	47	$\frac{44,4 \pm 1,3}{6}$	27	34	$\frac{29,7 \pm 1,3}{9}$	22	30	$\frac{25,9 \pm 1,5}{12}$
5	Клюква	44	47	$\frac{45,0 \pm 1,1}{4}$	29	33	$\frac{30,9 \pm 1,3}{6}$	23	25	$\frac{24,2 \pm 0,7}{4}$
6	Сфагнум	42	52	$\frac{47,1 \pm 3,8}{11}$	27	34	$\frac{29,6 \pm 2,8}{13}$	21	25	$\frac{23,3 \pm 1,4}{9}$
Листопадные										
7	Береза карликовая	43	49	$\frac{44,3 \pm 1,8}{8}$	28	35	$\frac{32,1 \pm 1,6}{9}$	22	26	$\frac{23,7 \pm 0,9}{7}$
8	Морошка	44	49	$\frac{46,6 \pm 2,0}{6}$	28	32	$\frac{31,0 \pm 1,7}{6}$	21	24	$\frac{22,4 \pm 1,1}{7}$
9	Голубика	47	55	$\frac{50,1 \pm 2,8}{8}$	25	31	$\frac{28,6 \pm 2,5}{12}$	20	23	$\frac{21,7 \pm 0,9}{6}$

Примечание. В знаменателе приведены коэффициенты изменчивости (%).

Для сфагнового мха характерным признаком является интенсивное обогащение головок гаметофитов пигментами весной, сразу после схода снежного покрова, при высокой насыщенности его тканей влагой (92,8 %). В июле, после высыхания почвы и уменьшения водонасыщенности тканей (до 67,7 %), содержание всех пигментов у этого вида заметно ниже (на 35 %). В сентябре при достаточно высокой влагонасыщенности тканей (до 87 %) количество пигментов в головках гаметофитов в 2,5 раза ниже, чем весной ( $t = 15,7$ ).

В прошлогодней хвое сосны минимальное количество пигментов отмечено в мае-июне, в июле пигментный фонд активно восстанавливается. С наступлением холодов содержание хлорофилла снижается, а каротиноидных пигментов сохраняется на достаточно высоком уровне. Можно полагать, что зимнее снижение хлорофилла является результатом фотосенсибилизированного окисления его [12] и агглютинации пластид [9]. В зимний период наиболее активно разрушается хлорофилл *a*. Среди каротиноидов наблюдается исчезновение виолаксантина, но в этот же период весьма активно накапливаются более восстановленные пигменты – каротин и, особенно, лютеин. Активное разрушение виолаксантина и хлорофилла *a* в зимние месяцы отмечено нами также у ели [2]. Выпавшие в конце июля–начале августа 1986 г. обильные осадки, вызвавшие подтопление корнеобитаемого слоя почвы, привели у сосны к снижению содержания хлорофилла и каротиноидов соответственно на 35 и 28 %.

За 16 лет, прошедших после осушения, существенно изменились условия для роста болотных растений. В результате опускания уровня почвенно-грунтовых вод значительно ускорился рост сосны, в итоге возросла сомкнутость крон и уменьшилось поступление под полог солнечного света (в 2 раза). Изменения в экологической обстановке своеобразно сказались у подпологовых растений на накоплении пигментов, что однако не нарушило общий характер их динамики. Так, по усредненным данным после осушения в листьях березы карликовой содержание хлорофиллов возросло в 2,2 раза ( $t = 16,1$ ), а каротиноидов – в 1,2 раза ( $t = 3,8$ ), в листьях вересковых – соответственно в 1,4–1,8 и 1,2–1,6 раза ( $t = 3,4...6,9$ ). Весьма существенно (в 2,9–3,1 раза) содержание пигментов повысилось в головках сфагнового мха. При полевой влажности мха 77,6 % в головках гаметофитов содержалось 1,04 мг хлорофиллов и 0,21 мг каротиноидов. В листьях голубики количество пигментов после осушения не изменилось, а в листьях клюквы отмечена даже их небольшая убыль (на 10...18 %). В хвое сосны (см. рисунок) после осушения содержание хлорофиллов возросло в 1,9, каротиноидов – в 1,4 раза ( $t$  соответственно 13,3 и 5,2).



Влияние осушения на содержание суммы пигментов в листьях болотных растений (обозначения на горизонтальной оси с 2 по 9 приведены в табл. 1, 2):

10 – брусника, 11 – вороника; ▨ – контроль, ▤ – опыт

Венные изменения в содержании отдельных пигментов в течение года, они у листопадных и исчезающих на зиму видов по сравнению с вечнозелеными видами обнаруживают большую изменчивость, связанную не столько со степенью увлажнения и термообеспеченности местообитания, сколько с длительностью жизни листового аппарата. Осушение, понижая уровень стояния почвенной воды, у большинства видов болотных растений способствует накоплению пигментов в листьях в результате как уменьшения влагозапасов в торфяной почве, так и сокращения поступления под полог солнечного света. Различия существенны и достоверны.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воронин, П.Ю. Проективное содержание хлорофилла и биоразнообразие растительности основных ботанико-географических зон России [Текст] / П.Ю. Воронин [и др.] // Физиология растений. – 1995. – Т. 42, вып. 2. – С. 295–305.
2. Коновалов, В.Н. Адаптивные особенности физиологических процессов у растений на Крайнем Севере [Текст] / В.Н. Коновалов, Л.В. Коновалова // Лесн. журн. – 1996. – № 6. – С. 26–31. – (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Коновалов, В.Н. Сезонная динамика содержания пластидных пигментов в хвое ели в связи с внесением минеральных удобрений [Текст] / В.Н. Коновалов // Журн. общей биол. – 1988. – Т. 49, № 5. – С. 611–617.
4. Куликов, Г.В. Динамика пигментов в листьях вечнозеленых и листопадных древесных растений в Крыму [Текст] / Г.В. Куликов, З.В. Иванцова // Ботан. журн. – 1977. – Т. 62, № 7. – С. 1053–1062.
5. Любименко, В.Н. О превращениях пластид в живой ткани растения [Текст] / В.Н. Любименко // Записки Императ. акад. наук. – 1916. – Сер. 8, Т. 33.
6. Попова, И.А. Исследование пигментов пластид с помощью хроматографии на бумаге [Текст] / И.А. Попова // Тр. БИН АН СССР. – Вып. 16. – С. 154–164.

7. Тарчевский, И.А. Содержание пигментов как показатель мощности развития фотосинтетического аппарата у пшеницы [Текст] / А.А. Тарчевский, Ю.Е. Андрианова // Физиология растений. – 1980. – Т. 27, вып. 2. – С. 341–347.

8. Тужилкина, В.В. Хлорофилловый индекс и ежегодный сток углерода в хвойных фитоценозах на Европейском Севере [Текст] / В.В. Тужилкина, К.С. Бобкова // Физиология растений. – 1998. – Вып. 45, № 4. – С. 594–600.

9. Ходасевич, Э.В. Фотосинтетический аппарат хвойных [Текст] / Э.В. Ходасевич. – Минск: Наука и техника, 1982. – 200 с.

10. Цельникер, Ю.Л. Хлорофилловый индекс как показатель годичной аккумуляции углерода древостоями леса [Текст] / Ю.Л. Цельникер, И.С. Малкина // Физиология растений. – 1994. – Т. 4, вып. 3. – С. 325–330.

11. Шлык, А.А. Определение хлорофиллов и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев [Текст] / А.А. Шлык. – М: Наука, 1971. – С. 154–169.

12. Dieter, G. Chlorophyll und chlorophyllabbau in fichtenadeln [Текст] / G. Dieter, P. Jris, P. Wilfried // Phyton. – 1983. – Vol. 23, N 1. – P. 79–90.

Поступила 09.06.08

*L.V. Zarubina<sup>1</sup>, V.N. Konovalov<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Vologda State Dairy Academy

<sup>2</sup>Arkhangelsk State Technical University

### **Seasonal Dynamics' Peculiarities of Leaves' Pigments in Fruticulose-sphagnous Pine Stands**

The varied reaction of pigment complex for separate species and botanical groups of helophytes to drainage is shown.

Keywords: helophytes, pigments, deciduous species, evergreens, drainage.

---

УДК 620.92

**А.Г. Гутаев, Г.И. Сидоренко**

С.-Петербургский государственный политехнический университет

Гутаев Алексей Геннадьевич родился в 1985 г., окончил в 2007 г. Петрозаводский государственный университет, аспирант кафедры возобновляющихся источников энергии и гидроэнергетики С.-Петербургского государственного политехнического университета. Область научных интересов: возобновляемые источники энергии, биоэнергетика, оценка воздействий биоэнергетических технологий на окружающую среду, оптимизация биоэнергетических систем.

E-mail: [gutaev@cef.spbstu.ru](mailto:gutaev@cef.spbstu.ru)



Сидоренко Геннадий Иванович родился в 1956 г., окончил в 1979 г. Ленинградский политехнический институт, доктор технических наук, профессор кафедры возобновляющихся источников энергии и гидроэнергетики С.-Петербургского государственного политехнического университета. Имеет около 120 печатных работ в области моделирования и оптимизации в энергетике, возобновляемых источников энергии, в том числе биоэнергетических.

E-mail: [sidorenko@cef.spbstu.ru](mailto:sidorenko@cef.spbstu.ru)



## **АНАЛИЗ УГЛЕРОДНОГО БАЛАНСА РЕСПУБЛИКИ КАРЕЛИЯ И РОЛЬ ЛЕСНОГО КОМПЛЕКСА\***

Получены данные о прямых и косвенных потоках углерода в топливно-энергетическом комплексе Карелии; оценены потоки углерода в лесном комплексе и сельском хозяйстве и их антропогенная составляющая; показана связь потоков углерода с различными источниками образования энергетической биомассы.

*Ключевые слова:* Карелия, углеродный баланс, топливно-энергетический комплекс, биомасса, древесное топливо.

Хозяйственная деятельность человека оказывает влияние на газовый баланс атмосферы Земли. При этом происходит безвозвратное изъятие кислорода, расходуемого на сжигание топлива и другие окислительные процессы, и выброс в атмосферу углекислого газа. Другие продукты сгорания либо экологически безопасны (водяной пар), либо не входят в г

3  
В прошлом веке концентрация  $\text{CO}_2$  в атмосфере составляла около 275 ppm (частей на миллион) или 0,027 %, в настоящее время она достигла 365 ppm. По прогнозам к 2100 г. этот показатель составит 700 ppm.

Увеличение содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере вызвано сжиганием ископаемого топлива, в основном углеводородного, и в меньшей степени другими факторами [13]. В результате проведенных исследований [13] выявлены глобальные антропогенные выбросы углерода в 1980 – 1989 и 1989 – 1998 гг.: в среднем соответственно 6,7 и 7,9 Гт С в год или почти 1,4 т С на душу населения. Выбросы в промышленно развитых странах

\* Работа поддержана проектом РФФИ 08-08-98803-Р-север А.

значительно превышают средний уровень (например, в Японии – 2,54, Германии – 2,87, Финляндии – 3,15, США – 5,37 т С в год на душу населения) [12]. Выбросы в развивающихся странах существенно отличаются; отмечено, что бóльшие приходится на те страны, где имеют место крупномасштабные лесозаготовки.

Согласно решению Киотской международной конференции ООН по изменению климата, для России установлена квота на выбросы «парниковых газов» на уровне 1990 г. Предполагается, что это положение будет распространяться и на субъекты РФ. Анализ углеродного баланса Карелии и оценка влияния на него топливно-энергетического комплекса были выполнены нами на основе работ [1–11, 14–17] для 1990 г. (Следует отметить, что максимальный расход топлива и энергии в Карелии приходился именно на 1990 г.).

Впервые оценка углеродного баланса для Карелии была проведена М.Ф. Макаревичем в 1991 г. на основе данных 1985 и 1988 гг. [5], в 1999 г. – при разработке «Стратегии развития энергетики Карелии» [2], более детально – в работе [16]. Выделим основные недостатки предшествующих работ:

при оценке косвенных выбросов углекислого газа в атмосферу [5] предполагалось, что только часть электроэнергии, поступающей из энергосистем соседних регионов, производится на тепловых станциях;

объем потребления ТЭР для 1988 г. оценивался по приближенному балансу, составленному на основании данных 1985 и 1988 гг.;

элементный состав энергоносителей для Карелии оценен в [5] очень приближенно;

выделение метана болотными биогеоценозами не было пересчитано в эквивалент  $\text{CO}_2$ ;

не приведен баланс углерода по лесопромышленному комплексу (ЛПК);

баланс углерода в лесных и болотных экосистемах выполнен по материалам учета лесного фонда на 01.01.1988;

не учтены самозаготовка дров населением, влияние пожаров на выбросы углерода, аэробное разложение отходов, влияние осушения болот на продуктивность прилегающих древостоев, депонирование древесных продуктов и отходов на свалках с последующим выделением свалочного газа, воздействие транзитных потоков автомобильного транспорта через Карелию, прямые и косвенные потоки углерода в других секторах экономики (строительство, сельское хозяйство и т.д.) и потоки углерода, образующиеся в результате жизнедеятельности населения.

В данной статье оценены прямые и косвенные потоки углерода в топливно-энергетическом и лесном комплексах Республики Карелия, составлен баланс углерода в лесных и болотных биогеоценозах и суммарный углеродный баланс, а также определены перспективы развития биоэнергетики в республике.

*Вклад топливно-энергетического комплекса в углеродный баланс*



Республика Карелия удалена от основных топливных баз страны, поэтому большая часть топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) поступает из соседних областей (80...85 % топлива и 43...56 % электроэнергии). Основным потребителем ТЭР является промышленность, на долю которой приходится 82 % топлива, около 70 % электрической и 54...60 % тепловой энергии. Специфика экономики (наличие энергоемких отраслей промышленности) и достаточно суровый климат региона предопределили повышенное потребление ископаемого топлива. Прогнозируемый рост цен на энергоносители приведет к увеличению затрат на топливо и энергию, поступающие в Карелию из других регионов России. Снижение потребления топлива и энергии может быть достигнуто за счет внедрения энергосберегающих технологий и более широкого вовлечения в топливно-энергетический баланс местных возобновляемых энергетических ресурсов, в том числе более широкое использование биомассы [2, 17].

Топливо-энергетический комплекс (ТЭК) Карелии представлен каскадами гидроэлектростанций (мощность 632,8 МВт), тепловыми электростанциями (478 МВтэ) и многочисленными котельными [2]. Доля централизованного теплоснабжения составляет около 70 %. В табл. 1 представлена структура потребления ТЭР в республике в 1990 и 2000 гг.

Поэлементный состав используемых в 1990 г. топлив приведен на рис. 1, выбросы углерода от сжигания этих видов топлива в 1988, 1990 и 2000 гг. – в табл. 2.

М.Ф. Макаревский [5] оценил выбросы углерода от сжигания энергоносителей по приближенному балансу 1988 г., они составили около 3,43 млн т в год. В 1990 г. выбросы углерода в атмосферу от сжигания топлива в ТЭК Карелии составили 4,36 млн т, в том числе от ископаемого топлива – 3,50 млн т, соответственно в 2000 г. – 2,00 и 1,47 млн т. Нами принято 4,36 млн т.

В баланс ТЭК, кроме углерода, получаемого при сжигании топлива непосредственно на территории республики, необходимо включить электроэнергию, выработанную на тепловых электростанциях других областей. В 1990 г. поступление из Кольской, Ленинградской и Вологодской энергосистем составило 4928 ГВт·ч (соответственно 2900, 2009 и 19 ГВт·ч).

Таблица 1

**Структура потребления ТЭР в Республике Карелия**

3\*

ид топлива или энергии	1990 г.		2000 г.	
	тыс. т у.т.	%	тыс. т у.т.	%
Бензины	282,0	3,10	226,7	4,47
Топливо дизельное	837,0	9,10	487,2	9,60
Мазут топочный	3379,0	36,90	1170,1	23,07
Газ природный	–	–	414,1	8,60
Газ сжиженный	156,0	1,70	57,9	1,14
Уголь	901,0	9,90	528,4	10,42
Торф	–	–	0,4	0,01
Дрова	486,0	5,30	249,9	4,93
Прочие (щелок, древесные отходы)	830,0	9,10	284,4	5,61

<i>Итого</i>	6871,0	75,10	3419,2	67,41
Общее потребление электроэнергии	2283,0	24,90	1653,1	32,59
Всего	9154,0	100	5072,3	100

По данным [5], полученным на основе показателей 1988 г., всего поступило 4411 ГВт·ч, в том числе из Кольской энергосистемы – 3770 ГВт·ч, из Ленинградской – 641 ГВт·ч. Разница в объемах поступившей электроэнергии 517 ГВт·ч.

В оценке косвенных выбросов существует несколько подходов. Рассмотрим два крайних.

В первом (оптимистическом) подходе сделаны следующие предположения [5]:

1) доля электроэнергии, вырабатываемой на тепловых электростанциях Кольской и Ленинградской энергосистем, равна 4,2 и 41,5 % соответственно, т. е. общее поступление в Карелию электроэнергии с тепловых электростанций составляет  $158,3 + 266,0 = 424,3$  тыс. кВт·ч [5];

2) нормативный расход топлива на производство 1 кВт·ч электроэнергии на тепловых станциях составляет 304 г условного топлива (у.т.).

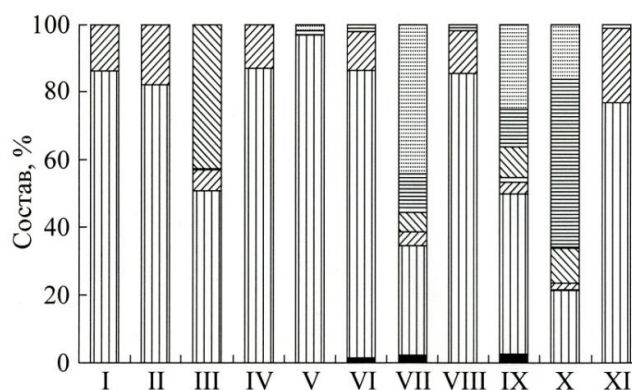


Рис. 1. Элементный состав топлива:  $\square$  – зольность,  $\text{---}$  – влажность,  $\text{///}$  – кислород,  $\text{---}$  – азот,  $\text{|||}$  – водород,  $\blacksquare$  – углерод,  $\blacksquare$  – сера; I – бензин, II – газ сжиженный, III – дрова и древесные отходы (на сухую массу), IV – керосин, V – кокс, VI – мазут, VII – сланцы горючие, VIII – топливо жидкое (дизельное, газотурбинное, моторное), IX – уголь, X – щелок сульфатный, XI – природный газ

#### при использовании различных видов топлива

Топливо	Количество использованного топлива, тыс. т			Выбросы углерода, тыс. т		
	1988 г.*	1990 г.	2000 г.	1988 г.*	1990 г.	2000 г.
Бензины	137,0	189,0	81,2	117,8	162,5	69,8
Газ природный**	0	0	362,2	0	0	209,3
Газ сжиженный	43,3	39,8	37,5	35,5	32,9	31,0
Мазут топочный	1650,4	2466,0	778,6	1394,6	2099,8	663,0
Топливо дизельное	573,4	577,0	260,7	487,4	500,0	228,5
Уголь	1053,0	1315,0	553,5	506,5	637,4	268,3
Древесное топливо	2242,0	2146,0	884,8	538,1	515,1	212,4

Щелок	1471,0	1594,0	1496,2	313,3	342,2	320,3
Прочие	51,1	76,0	2,7	35,0	69,9	2,4
<i>Итого</i>	–	–	–	3428,2	4359,0	2005,0

\* М.Ф. Макаревский объем потребления топлива в 1988 г. оценил по приближенному балансу [5], составленному на основании данных 1985 и 1989 гг.

\*\* Газ природный – в млн метрах кубических, древесное топливо – в тыс. пл. метрах кубических.

Принимая, что его элементный состав аналогичен донецкому углю [5], получим объем выбросов углерода в атмосферу при производстве на тепловых электростанциях поставляемой в Карелию электроэнергии – 66,0 тыс. т.

Следуя этим предположениям, но используя данные 1990 г., получим объем поступающей в Карелию электроэнергии, произведенной на тепловых электростанциях:  $121,8 + 833,7 = 955,5$  ГВт·ч в год. Косвенные выбросы углерода составят примерно 150,2 тыс. т.

Второй подход (пессимистический) изложен в работе [16]. Оценка косвенных выбросов получена в предположении, что вся электроэнергия выработана на «замыкающей» угольной электростанции с расходом 1,24 т  $\text{CO}_2/\text{МВт}\cdot\text{ч}$  [14]. В этом случае выброс углекислого газа составляет  $1,24 \cdot 4,928$  млн т  $\text{CO}_2 = 6,11$  млн т  $\text{CO}_2$  или 1667,0 тыс. т С.

Таким образом, косвенные выбросы могут варьировать от 150,2 до 1667,0 тыс. т С. Они должны быть добавлены к прямым выбросам. Следовательно, выбросы от ТЭК Карелии в 1990 г. составляют  $4359,9 + (150,2 \dots 1667,0) = 4510,1 \dots 6026,9$  тыс. т С.

#### *Оценка баланса углерода в лесном комплексе*

В табл. 3 приведены данные об относительной массе абсолютно сухих фракций спелых и перестойных древостоев, идущих в рубку главного пользования в Карелии. Эта таблица построена на основе работ [4, 6, 8, 17 и др.]. По данным Госкомстата [7] в 1990 г. в Карелии с лесосек было вывезено 10766 тыс. пл.  $\text{м}^3$  древесины, удельная сухая биомасса при вывозке бревен с корой составила  $0,436 + 0,044 = 0,480$  т/пл.  $\text{м}^3$ , в отходах остается  $0,632 - 0,480 = 0,152$  т/пл.  $\text{м}^3$  (табл. 4).

Таблица 3

**Удельная масса абсолютно сухих фракций спелых и перестойных древостоев, отнесенная к 1 пл.  $\text{м}^3$  стволовой древесины (т/пл.  $\text{м}^3$ )**

Порода	Стволовая древесина	Кора ствола	Хвоя и листва	Ветви с корой	Корни с корой
Сосняки	0,439	0,035	0,011	0,033	0,077
Ельники	0,410	0,050	0,026	0,046	0,122
Березняки	0,499	0,084	0,017	0,090	0,084
Средневзвешенное	0,436	0,044	0,016	0,043	0,092

Таблица 4

**Удельная масса абсолютно сухих фракций биоценоза, отнесенная к 1 пл. м<sup>3</sup> стволочной древесины (т/пл. м<sup>3</sup>)**

Порода	Объем, %	Биомасса биоценоза*	Фитомасса древостоя	Сухостой и валежник	Напочвен- ный покров
Сосняки	58,3	0,678	0,596	0,064	0,018
Ельники	31,9	0,692	0,654	0,026	0,012
Березняки	8,8	0,774	0,774	...	...
Средневзвешенное	99,0	0,692	0,632	0,046	0,014

\* Расхождение в последнем знаке вызвано округлением.

Рассчитаем количество углерода в вывезенной с лесосеки стволочной древесине:  $C_{ст} = 10766 \cdot 0,480 \cdot 0,504 = 2605,0$  тыс. т С, в оставшихся лесосечных отходах  $C_{л.о} = 10766 \cdot 0,152 \cdot 0,504 = 825,0$  тыс. т С. Потери при вывозке стволочной древесины  $C_{л.п} = 2605 \cdot 6/100 = 156,0$  тыс. т С, что составит 6 %. С учетом потерь в лесосечных отходах осталось лежать  $825,0 + 156,0 = 981,0$  тыс. т С. Содержание углерода в вырубленной биомассе составит  $C_{в.б} = C_{ст} + C_{л.о} = 2605,0 + 825,0 = 3430,0$  тыс. т С. Объем углерода, поступивший в лесопромышленный комплекс для переработки, оценивается по следующей формуле:

$$C_{ЛПК} = C_{ст} - C_{др} - C_{л.п} - C_{и.д} - C_{э.д}, \quad (1)$$

где  $C_{др}$  – содержание углерода в круглом лесоматериале, который используется в других секторах экономики (не в лесном комплексе), дрова и т.д.;

$C_{и.д}$  – содержание углерода в круглом лесоматериале, поступившем из других регионов в Карелию,  $C_{и.д} = 0$ ;

$C_{э.д}$  – содержание углерода в круглом лесоматериале, который отправляется в другие регионы (субъекты РФ, Финляндия и др.),  $C_{э.д} = 180,9$  тыс. т С.

Согласно [7], деловой древесины было заготовлено 9969 тыс. пл. м<sup>3</sup>. Соответственно, объем неделовой древесины равен 797 тыс. пл. м<sup>3</sup> или 193,0 тыс. т С. На топливные и нетопливные нужды было израсходовано: дров для отопления – 486,0 тыс. т у.т., древесных отходов – 527,0 тыс. т у.т. [3, 16] или 3808 тыс. пл. м<sup>3</sup>. Источник [2] отмечает, что на нетопливные нужды пошло 442 тыс. т у.т. или 1662 тыс. пл. м<sup>3</sup>. Из них дрова для топливных нужд – 1606 тыс. пл. м<sup>3</sup>, древесные отходы – 540 тыс. пл. м<sup>3</sup>. Таким образом, в топках и котлах было сожжено  $3808 - 1662 = 2146$  тыс. пл. м<sup>3</sup> дров и древесных отходов, что дало 515,1 тыс. т выбросов углерода, в содорегенерационных котлах ЦБК – 1594 тыс. т черных щелоков с выбросом 342,2 тыс. т С [2] (см. табл. 2).

Из вывезенной древесины потреблено в круглом виде 2574,8 тыс. пл. м<sup>3</sup>. В том числе в Карелии использовано 1606,0 тыс. пл. м<sup>3</sup> топливных дров (учтены при оценке выбросов от ТЭК) и 221,0 тыс. пл. м<sup>3</sup> дров для нетопливных нужд, а также вывезено за пределы республики 747,8 тыс. пл. м<sup>3</sup>. Соответствующее количество углерода в лесосечных отходах, приходящееся

на баланс Карелии, составило  $1827 \cdot 0,152 \cdot 0,504 = 140,0$  тыс. т С, на балансы потребителей в других областях и за рубежом –  $7470,8 \cdot 0,152 \cdot 0,504 = 57,3$  тыс. т С. Оценка  $C_{др}$  проведена на основе объема используемых в Карелии дров:  $C_{др} = 1606 \cdot 0,480 \cdot 0,504 = 388,5$  тыс. т С. Согласно (1), на переработку в лесной сектор поступило  $C_{лпк} = 2605 - 388,5 - 156,0 + 0 - 180,9 = 1880,0$  тыс. т С или 7766 тыс. пл. м<sup>3</sup>. Этот объем углерода в биомассе переходит в продукцию  $C_{п}$ , выделяется в атмосферу при сжигании  $C_{со}$ , выделяется в атмосферу при аэробном разложении отходов  $C_{р.о}$ , депонируется на свалках древесных отходов  $C_{д.о}$ . Из этого объема надо вычесть углерод, получаемый при рециклинге бумаги  $C_{р.б}$ . Величина  $C_{п} = 1451,0$  тыс. т С определяется на основе объемов производства продукции лесного комплекса Карелии (табл. 5 [8, 14, 17]). Расход углерода на производство энергии от сжигания черных щелоков и древесных отходов  $C_{со} = 540 \cdot 0,48 \cdot 0,504 + 342,2 = 472,8$  тыс. т С.

Таблица 5

**Объемы производства и содержание углерода  
в продукции лесного комплекса (1990 г.)**

Продукция лесного комплекса	Объем производства / вывоза	Содержание углерода на производство/вывоз, тыс. т
Импорт / экспорт круглого леса, тыс. пл. м <sup>3</sup>	0 / 747,8	0 / 180,9
Пиломатериалы, тыс. пл. м <sup>3</sup>	2004 / 1100	484,8 / 266,1
ДВП, млн. усл. м <sup>2</sup> (тыс. м <sup>3</sup> )	16,2 (48,6) / -(38,2)	23,0 / 18,1
Целлюлоза, тыс. т	765,7 / 123,0	338,4 / 54,4
Бумага, тыс. т	1220 / 880,1	494,1 / 356,4
Фанера, тыс. м <sup>3</sup>	28,1 / 21,4	8,4 / 6,4
Картон, тыс. т	53,1 / 0	21,5 / 0
Мешки бумажные, млн шт.	983,8 / 738,0	80,6 / 60,6
<i>Итого</i>	–	1450,8 / 762,0*

\* По данным [5] за 1988 г. содержание углерода на производство / вывоз составило 1247,4/866,0 тыс. т.

Всего в конечной продукции лесного комплекса содержится 1450,8 тыс. т С и вывозится за пределы республики 762,0 тыс. т С или с учетом круглой древесины  $762,0 + 180,9 = 942,9$  тыс. т С. Из баланса Карелии также необходимо исключить углерод в отходах лесозаготовок и деревопереработки, которые образуются при производстве вывозимой за пределы Карелии продукции. На основании [16] оценим приблизительно объемы углерода, высвобождающегося при аэробном разложении отходов и депонируемого на свалках:  $C_{р.о} = 0,115 \cdot C_{п} = 166,8$  тыс. т С и  $C_{д.о} = 0,032 \cdot C_{п} = 46,4$  тыс. т С.

Из-за отсутствия информации по рециклингу бумаги примем  $C_{р.б} = 0$ . Тогда баланс углерода в лесном комплексе

$$C_{лпк} = C_{п} + C_{со} + C_{р.о} + C_{д.о} - C_{р.б}. \quad (2)$$

Разница между (1) и (2) составляет 257,0 тыс. т. С (7 %) и показывает погрешность наших расчетов.

Выбросы углерода лесным комплексом через потребляемую в республике продукцию лесного комплекса и приходящиеся на ее долю отходы составляют  $688,8 + 156,3 + 140,3 + 49,4 + 166,8 + 46,4 + 244,0 = 1492,0$  тыс. т. С. На рис. 2 представлена схема потоков углерода в лесном комплексе.

*Вклад сельского хозяйства и жизнедеятельности населения  
в баланс углерода*

По статистическим данным за 1988 г. суммарный годовой объем отходов животноводства в Карелии составлял 876,0 тыс. т: от крупного рогатого скота – 648,2 тыс. т, от свиней – 75,9 тыс. т, от птицы – 131,0 тыс. т, от зверей – 20,5 тыс. т. Основные объемы отходов приходились на южные районы Карелии – Олонецкий, Прионежский, Сортавальский и Лахденпохский.

Примем следующий процентный состав продуктов разложения отходов животноводства: метан – 65, углекислый газ – 30, др. газы – 5. Коэффициент приведения объема выбросов метана к углекислому газу  $K(\text{CH}_4)_{\text{CO}_2} = 21$ . При таком процентном соотношении продуктов разложения найдем объемы выбросов парниковых газов животноводческими хозяйствами: углекислый газ –  $Q_{\text{CO}_2} = 47,6$  тыс. т, метан –  $Q_{\text{CH}_4} = 103,2$  тыс. т. Полный эквивалентный выход углерода из отходов животноводства

$$C_{\text{ж.э}} = \frac{12}{44} (47,6 + 21 \cdot 103,2) = 604,0 \text{ тыс. т.}$$

Значительное снижение выбросов углерода в животноводстве возможно за счет сбора отходов и энергетического использования биогаза:

$$C_{\text{ж.э}} = \frac{12}{44} 47,6 = 13,0 \text{ тыс. т.}$$

При этом заключенная в выделенном объеме

$$\text{метана энергия } E_{\text{CH}_4} = \frac{103,2 \cdot 10^6 \cdot 49,7 \cdot 10^6}{4,2 \cdot 10^9} = 1221,2 \text{ тыс. Гкал}$$

позволит заместить в ТЭЖ 174,5 тыс. т у.т. (углерод от сжигания метана также переносится на баланс ТЭЖ).

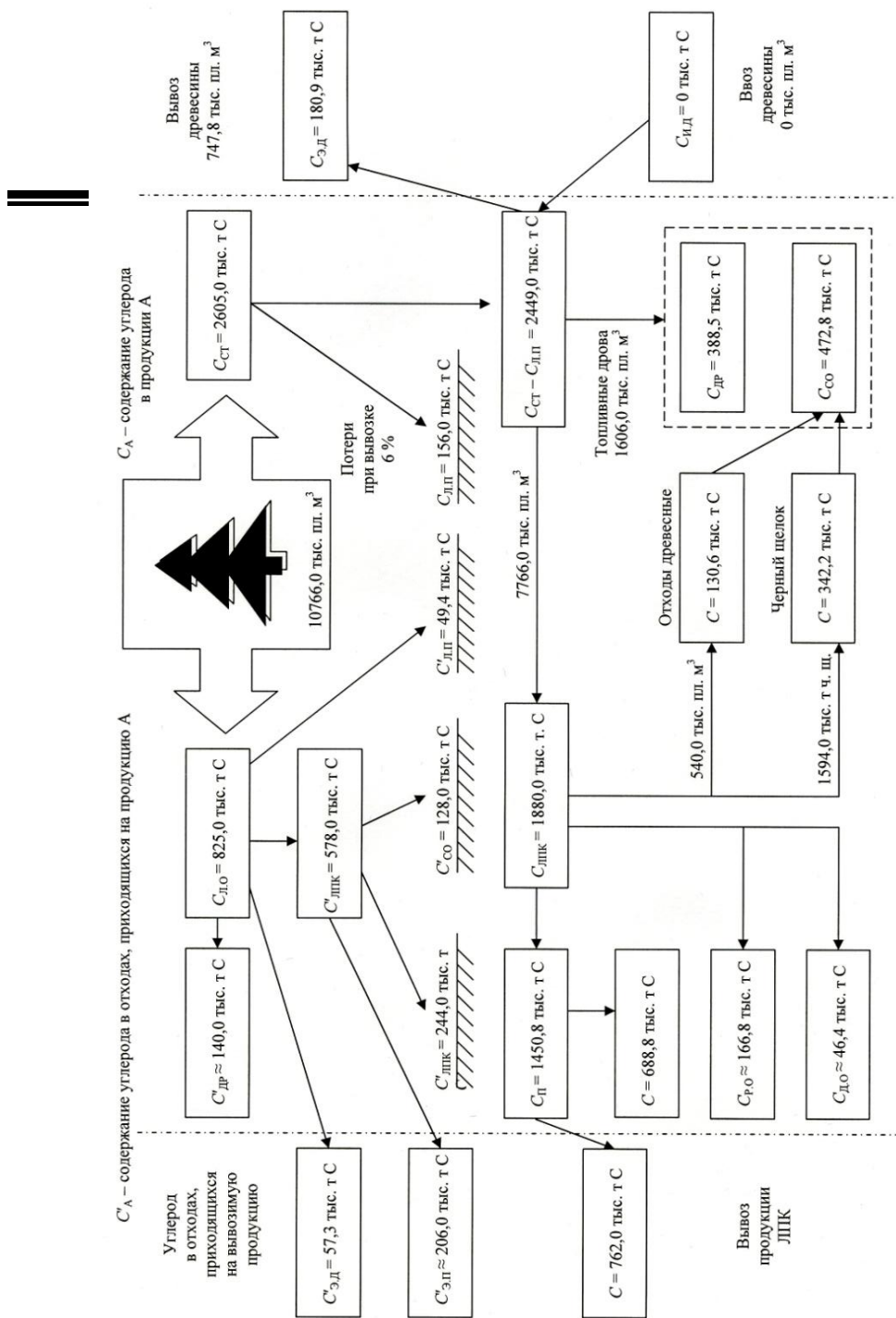


Рис. 2. Поток углерода в лесном комплексе

Объемы выбросов углерода в результате жизнедеятельности населения ( $C_{н.ж}$ ) республики определяются исходя из объема потребления продуктов питания (производимых на территории республики и ввозимых извне). В 1990 г.  $C_{н.ж} = 36,4$  тыс. т. С, в 1999 г. – 28,8 тыс. т. С.

Для нахождения потоков углерода в растениеводстве необходимы дополнительные исследования по определению количества связываемого, депонируемого и высвобождаемого углерода (с учетом объемов сельскохозяйственной продукции, потребляемой на территории республики и вывозимой из Карелии, и объемов остающихся отходов).

В 1990 г. суммарный поток углерода от разложения отходов животноводства (на основе данных 1988 г.) и сточных вод  $C_{ж.р} = 604 + 36,4 = 640,4$  тыс. т. Использование биогаза позволит уменьшить поток углерода (в эквиваленте  $CO_2$ ) до  $C_{ж.р} = 13,0 + 36,4 = 49,4$  тыс. т/год.

#### *Оценка потоков углерода в болотных биогеоценозах Карелии*

Площадь болот в республике составляет 36 тыс. км<sup>2</sup>, заболоченных лесов – 18 тыс. км<sup>2</sup>. Запасы торфа в границах промышленной залежи оценены в 13,7 (56,8) млрд м<sup>3</sup> или 2,0 (8,34) млрд т при 40 % влажности, (в скобках указаны прогнозные запасы торфа) [2]. Ежегодно болота производят 170 млн м<sup>3</sup> биогаза [16], в котором содержание метана и углекислого газа составляет соответственно 65 и 30 % или 132,6 и 61,2 тыс.

т/год. Эквивалентный выход углерода  $C_{э\text{кв}} = \frac{12}{44} (61,2 + 21 \cdot 132,6) = 776,1$  тыс. т.

Годичный прирост торфа оценивается 0,3...1,5 мм или 0,36...1,8 млн т С. При среднем приросте 0,9 мм/год связывание углерода в болотных биогеоценозах составляет 1,08 млн т/год. Баланс углерода в болотных биогеоценозах:  $1080,0 - 776,1 = 303,9$  тыс. т С/год. Эта оценка существенно отличается от данной ранее (без пересчета метана в количественный эквивалент  $CO_2$ ) в сторону уменьшения общего объема стока углерода.

#### *Обмен углерода в лесных и болотных биогеоценозах Карелии*

Методика расчета баланса углерода в лесных и болотных экосистемах описана ранее [5]. Настоящий расчет выполнен нами по материалам учета лесного фонда на 1.01.1988 г. и 01.01.1993 г. Данные по распределению лесной площади и запасов древесины на 01.01.1991 г. для основных породно-возрастных групп представлены в табл. 6.

Расчеты фиксации углерода (в приросте древостоев – на 1 м<sup>3</sup> запаса, живом напочвенном покрове – на 1 га) и высвобождения его с опадом в лесах разных породно-возрастных групп выполнены на основе табл. 6 по удельным показателям, использованным в [5]. Данные о фиксации и высвобождении углерода в древостоях в расчете на весь запас древесины на 1.01.1991 г. (по живому напочвенному покрову – на лесную площадь) приведены в табл. 7.

Таблица 6

**Площадь лесов Карелии (числитель – тыс. га) и запас древесины в них (знаменатель – млн м<sup>3</sup>)**

Порода	Молодняки	Средневозрастные и приспевающие	Спелые и перестойные	Всего
Сосняки	2523,9	1343,7	1608,9	5476,5
	57,57	186,02	202,85	446,44
Ельники	599,8	600,9	1081,6	2282,3
	12,98	83,58	162,65	259,21



Мелколиственные	$\frac{317,0}{3,93}$	$\frac{436,5}{38,53}$	$\frac{224,4}{35,91}$	$\frac{977,9}{78,37}$
<i>Итого</i>	$\frac{3440,7}{74,48}$	$\frac{2381,1}{308,13}$	$\frac{2914,9}{401,41}$	$\frac{8736,7}{784,02}$

Таблица 7

**Фиксация углерода (тыс. т) в приросте древостоев (числитель)  
и живого напочвенного покрова (знаменатель) и его высвобождение с опадом**

Порода	Молодняки		Средневозрастные и приспевающие		Спелые и перестойные		Всего	
	При- рост	Опад	При- рост	Опад	При- рост	Опад	При- рост	Опад
Сосняки	$\frac{1728,9}{2208,4}$	$\frac{690,8}{2261,4}$	$\frac{2332,7}{1115,3}$	$\frac{1116,1}{1054,8}$	$\frac{907,4}{1584,8}$	$\frac{811,4}{1544,5}$	$\frac{4969,0}{4908,5}$	$\frac{2618,4}{4860,8}$
	$\frac{543,4}{99,6}$	$\frac{272,1}{95,4}$	$\frac{1419,9}{123,2}$	$\frac{794,0}{114,8}$	$\frac{809,0}{448,9}$	$\frac{731,9}{427,2}$	$\frac{2772,4}{671,6}$	$\frac{1798,0}{637,4}$
Мелко- лист- венные	$\frac{365,2}{196,9}$	$\frac{169,4}{200,0}$	$\frac{1043,7}{31,0}$	$\frac{616,5}{31,0}$	$\frac{537,0}{46,0}$	$\frac{378,2}{41,1}$	$\frac{1945,8}{273,9}$	$\frac{1164,1}{272,1}$
	$\frac{2637,5}{2504,8}$	$\frac{1132,3}{2556,8}$	$\frac{4796,3}{1269,4}$	$\frac{2526,6}{1200,6}$	$\frac{2253,4}{2079,6}$	$\frac{1921,5}{2012,8}$	$\frac{9687,2}{5853,9}$	$\frac{5580,4}{5770,2}$
<b>Всего:</b>								
по табл. 6 по М.Ф. Макареву [7]	5142,3	3689,1	6065,7	3727,2	4333,0	3934,3	15541,1	11350,6
	5219,0	3744,0	6281,0	3866,0	4469,0	4047,0	15 969,0	11657,0

Общее поглощение атмосферного углерода лесными экосистемами в 1990 г. составляло 15541,1 тыс. т. Из этого количества в чистом приросте древостоев зафиксировано 4190,0 тыс. т С, 11351 тыс. т С поступило с опадом в лесную подстилку. Кроме того, в подстилку попало 981,0 тыс. т С, содержащегося в лесосечных отходах и потерях.

Выбытие углерода из подстилки, примерно равное его среднегодовому поступлению за предыдущие 15 лет, составило 12332 тыс. т. В естественных лесах 10 % выбывающего из подстилки углерода переходит в виде органического вещества в гумус и торф почвы, а остальные 90 % выделяются в виде CO<sub>2</sub> в атмосферу. Однако естественное состояние карельских лесов (помимо рубок) нарушено гидролесомелиорацией. Из-за этого в 1985 г. переход углерода из подстилки в почву сократился (а в атмосферу увеличился) на 78,0 тыс. т [5]. К 1988 г. площадь осушенных лесных земель увеличилась по сравнению с 1985 г. на 7,1 %. Вследствие этого потери органического углерода при переходе подстилка-

почва возросли до 85,0 тыс. т [5]. Таким образом, фактически из лесной подстилки в почву перешло  $1233,0 - 85,0 = 1148,0$  тыс. т С, выделено в атмосферу –  $11099,0 + 85,0 = 11184,0$  тыс. т С.

Выделение углерода в атмосферу лесными почвами в 1985 г. составило 1140,0 тыс. т [5]. Вследствие увеличения осушенных площадей в 1988 г. этот показатель вырос до 1159,0 тыс. т, тогда общее выделение углерода в атмосферу лесными экосистемами достигло  $11184,0 + 1159,0 = 12343,0$  тыс. т. Однако из этого количества нужно вычесть 981,0 тыс. т, уже учтенных в балансе лесного комплекса как выделяющиеся при разложении лесосечных отходов и потерь.

Итоговый баланс углерода на 01.01.1991 г. в лесных экосистемах Карелии:  $15541,0 - 12343,0 + 981,0 = 4179,0$  тыс. т, в болотных биогеоценозах – примерно +304,0 тыс. т.

#### *Суммарный баланс углерода на территории Карелии*

Объем выбросов углерода в атмосферу топливно-энергетическим комплексом в 1990 г. составил 4510,1...6026,9 тыс. т. Лесной комплекс добавил к этому 1492 тыс. т (без учета углерода в древесине и отходах, использованных на топливо). Эквивалентные объемы выбросов углерода животноводческим хозяйствами и в сточных водах: + 640,4 тыс. т. Общее количество выбросов в атмосферу техногенного углерода 6642,5...8159,3 тыс. т. Связывание атмосферного углерода лесными и болотными биогеоценозами Карелии составило  $4179,0 + 304,0 = 4483,0$  тыс. т. Итоговый баланс:  $4483,0 - (6642,5...8159,3) = -(2159,5...3676,3)$  тыс. т.

Проведение мероприятий по сбору и использованию выделяемого биогаза (животноводческие хозяйства, торфяные месторождения) позволяет значительно влиять на углеродный баланс. Для 1990 г. потенциал снижения объемов выбросов углерода в сельском хозяйстве оценен в 591,0 тыс. т (выбросы животноводства и в сточных водах составили бы 49,4 тыс. т С/год), энергетический эффект использования биогаза был оценен в 174,5 тыс. т у.т.

Снижение на 30 % эмиссии болотного биогаза (например, в результате разработки торфяных месторождений) позволит уменьшить поток углерода на 233,0 тыс. т/год.

Суммарный баланс: – (1335,5...2852,3) тыс. т С.

#### *Перспективы использования биомассы в Карелии*

Методические основы расчетов различных категорий потенциала биомассы на примере Карелии изложены в работах [1, 8]. Некоторые оценки ресурсов биомассы по северо-западу России приведены в [11]. Корневой запас лесов Карелии увеличился на 5 % и составил около 900 млн м<sup>3</sup>. Энергия, заключенная в нем, оценивается (см. табл. 3, 4) в  $900 \cdot 0,692 \cdot 0,7 = 436$  млн т у.т. При заготовках леса вывозится не более  $(100 - 6) \cdot 0,480/0,692 = 65$  %. Объемы использования биомассы древостоев Карелии для нужд энергетики могут достигать 5 млн м<sup>3</sup>, реальный практический потенциал биомассы в

Карелии оценивается в 1,3 млн т у.т. Этот потенциал уже был достигнут в 1990 г.

Современная региональная политика направлена на повышение использования древесного топлива. Также представляется эффективным получение биогаза в животноводческих хозяйствах. Как было показано выше, мероприятия по сбору биогаза дают энергетический эффект (выработка тепловой энергии и замещение топлива в ТЭК) и улучшают углеродный баланс.

Продажа квот на выбросы углерода может стать стимулом более ускоренной модернизации теплового хозяйства Карелии [9]. Развитие возобновляемых источников энергии, в частности биоэнергетики, будет содействовать улучшению экологической, экономической и социальной ситуации в регионе.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Безруких, П.П.* Использование и оценка ресурсов древесного топлива в России [Текст] / П.П. Безруких, Г.И. Сидоренко, Г.А. Борисов // Изв. РАН. Энергетика. – 2002. – № 6. – С.24–35.
2. *Борисов, Г.А.* Энергетика Карелии. Современное состояние, ресурсы и перспективы развития [Текст] / Г.А. Борисов, Г.И. Сидоренко. – СПб.: Наука, 1999. – 303 с.
3. Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Республики Карелия в 1992, 1993 и 1995 гг. [Текст]. – Петрозаводск: Мин-во экологии и природных ресурсов Республики Карелия, 1993, 1994, 1995.
4. *Казимиров, Н.И.* Биологический круговорот веществ в ельниках Карелии [Текст] / Н.И. Казимиров, Р.М. Морозова. – Л.: Наука, 1973. – 175 с.
5. *Макаревский, М.Ф.* Запасы и баланс органического углерода в лесных и болотных биогеоценозах Карелии [Текст] / М.Ф. Макаревский // Экология. – 1991. – № 3. – С. 3–10.
6. Обмен веществ и энергии в сосновых лесах Европейского Севера [Текст] / Н.И. Казимиров [и др.]. – Л.: Наука, 1977. – 304 с.
7. Регионы России [Текст] // Стат. сб.: в 2 т. – М.: Госкомстат России, 1998. – Т.1 – 614 с., Т.2 – 797 с.
8. Ресурсы и эффективность использования возобновляемых источников энергии в России [Текст] / П.П. Безруких [и др.]. – СПб.: Наука, 2002. – 314 с.
9. *Сидоренко, Г.И.* Возможности использования энергетических ресурсов Карелии для снижения выбросов CO<sub>2</sub> в атмосферу [Текст] / Г.И. Сидоренко // Сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф. «Научные проблемы энергетики возобновляемых источников», окт. 2000 г. – Самара, 2000. – С. 102–105.
10. Техничко-экономический доклад по энергообеспечению Республики Карелия на базе нетрадиционных возобновляемых источников энергии с целью снижения энергодефицита и улучшения экологической обстановки [Текст]: отчет о НИР / рук. Г.И. Сидоренко. – Петрозаводск, 1992.
11. *Bezrukikh, P.* Challenges for the Use of Bioenergy in Northwest Russia [Text] / P. Bezrukikh // Woody Biomass as an Energy Sources – Challenges in Europe. / eds.: P.Pelkonen, P.Hakkila, T.Karjalainen, B.Schlamadinger. – EFI Proceedings, 2001. – N 39. – P.45–62.

12. Global, regional, and national CO<sub>2</sub> emissions [Text] / G. Marland [et al.] // A compendium of data on global change. – Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, TN, U.S.A., 1999.

13. Implications of the Kyoto Protocol for tropical forest management and land use: prospects and pitfalls [Text] / J. Koskela [et al.]. – Tropical Forestry Reports, 22, University of Helsinki, Department of Forest Ecology, Helsinki, 2000.

14. On the ecological and economic impacts of wood harvesting and trade in North-West Russia [Text] / V.V. Strakhov [et al.]. – Joensuu, Finland, 1996.

15. *Oud, E.* Global warming: a changing climate for hydro [Text] / E. Oud // Water Power & Dam Construction. – May, 1993. – P. 20–23.

16. Role of forestry and biomass production for energy in reducing the net GHG emissions in Finland. Assessment concerning the history and future [Text] / I. Savolainen [et al.] // IEA Bioenergy. Task 25, Greenhouse Gas Balances of Bioenergy Systems. Proceedings COP3 and COP4: The Role of Bioenergy in Achieving the Targets Stipulated in the Kyoto Protocol. – Finland, 1998. – P. 41–52.

17. *Sidorenko, G.I.* Influence of Karelia's fuel-energy complex on carbon balance and prospect of use of biofuels [Text] / G.I. Sidorenko, L. Ivashkina // The workshop «Bioenergy 2005»: Sustainable Biomass Management Chains to meet Kyoto Requirements. – Veliky Novgorod, Russia, Department of Bioenergy, SLU, Uppsala, Sweden, 2005.

Поступила 09.01.08

*A.G. Gutaev, G.I. Sidorenko*  
Saint-Petersburg State Technical University

### **Carbon Balance Analysis of Republic of Karelia and Forest Complex Role**

The data on direct and indirect carbon flows in fuel-energy complex of Karelia are obtained. Carbon flows in the forest complex and agriculture their anthropogenic constituent are assessed. The connection of carbon flows with different sources of energy biomass is demonstrated.

Keywords: Karelia, carbon balance, fuel-energy complex, biomass, wood fuel.

---

УДК 581.55

**М.Г. Романовский<sup>1</sup>, С.Н. Тарханов<sup>2</sup>, Р.В. Щекалев<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Институт лесоведения РАН<sup>2</sup>Институт экологических проблем Севера УрО РАН

Романовский Михаил Георгиевич родился в 1944 г., окончил в 1970 г. Московский лесотехнический институт, доктор биологических наук, заместитель директора по научным вопросам Института лесоведения РАН, начальник отдела экологии широколиственных лесов, старший научный сотрудник. Имеет около 90 печатных работ в области экологии широколиственных лесов.  
Тел.: (495) 419-52-57



Тарханов Сергей Николаевич родился в 1955 г., окончил в 1978 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией экологической биологии Института экологических проблем Севера УрО РАН. Имеет около 140 печатных работ в области эколого-географической изменчивости хвойных, биоиндикации атмосферного загрязнения и диагностики состояния лесных экосистем.

Тел.: (8182) 21-14-13



Щекалев Роман Викторович родился в 1976 г., окончил в 1998 г. Архангельский государственный технический университет, кандидат биологических наук, научный сотрудник Института лесоведения РАН. Имеет около 60 печатных работ в области изучения физико-механических свойств древесины и дендрохронологии.  
Тел.: (495) 937-02-36



## **ПОДХОДЫ К ОПИСАНИЮ БИОРАЗНООБРАЗИЯ РАВНИННЫХ ЛЕСОВ ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ**

Предложена расширенная схема типов равнинных лесов Европейской России, позволяющая компактно описать, систематизировать видовое биоразнообразие биоценозов и проанализировать взаимоотношения их ярусов и компонентов. Для исследования внутрипопуляционного биоразнообразия рекомендовано раздельно рассматривать изменчивость нейтральных и адаптивных признаков. Показана необходимость выделения сложных ландшафтных комплексов – центров биоразнообразия.

*Ключевые слова:* биоразнообразие, типы леса, популяции.

Биоразнообразие (БР) воспринимается сегодня как мерило природоохранной ценности биоценозов и экотопов, их вмещающих [1]. Но задача выделения и охраны «центров» БР, несмотря на ее практическое значение, на данном этапе исследований не несет заметной теоретической нагрузки. Фундаментальную теоретическую ценность представляет анализ механизмов формирования видовой и популяционной структур сообществ, причин, определивших различия их БР [24].

Сразу выделим временной аспект исследований. На коротких этапах существования сообщества его БР может ощутимо отличаться от величин, присущих данному экотопу при длительном развитии биогеоценоза (БГЦ) [3, 6, 7, 19–23 и др.]. Анализируя БР лесов, следует говорить о наборе видов и форм, свойственных конкретным фазам развития биоценозов, и о потенциальном БР. При этом очень полезны представления о предельных устойчивых состояниях БГЦ: климактерических, субклимактерических, выработанных [2, 18, 19 и др.].

Воспринимая лесной БГЦ как систему, обеспечивающую обменные циклы, мы видим, что ее энергетику определяют растения-доминанты, средообразователи. Древостой контролирует 75...95 % углерода в обороте лесными БГЦ [23]. Даже в самых малопродуктивных типах леса примерно 50 % оборота С зависит от древостоя. Подлесок, подрост, травяно-кустарничковый и мохово-лишайниковый ярусы в фитоценозах под древостоями старше 20 лет в лесной зоне контролируют  $\leq 25\%$  С-цикла. БР высших сосудистых растений, составляющих основу лесных БГЦ по массе и роли в продукционном процессе, – ключ к оценкам БР и конструкции всего биома.

Чем важнее компонент экосистемы, тем меньше число образующих его видов. Лесообразователи в насаждении представлены обычно 2...5 видами разной специализации: основные, дополнительные и сукцессионные. Основные доминируют в ценозах, длительно существующих без нарушающих воздействий. Дополнительные занимают ниши, полностью или частично не использованные основными. Сукцессионные временно доминируют при демулационных сукцессиях. На достаточно больших территориях суборей и раменей от южной тайги до широколиственных лесов насчитывают по 10...12 древесных видов, способных к образованию кратковременных или длительно существующих фитоценозов. Полный набор таких видов обнаруживается чаще всего на сравнительно небольших и однородных площадях 0,25...0,50 км<sup>2</sup>.

По числу видов в равнинных лесах европейской территории России (ЕТР) БР увеличивается с падением роли ярусов в продукционном процессе выработанных БГЦ (% первичной продукции фотосинтеза БР). Подлесочный древесно-кустарничковый ярус разнообразнее древостоя, травяно-кустарничковый еще богаче (табл. 1).

Таблица 1

**Потенциальное число видов и их участие в продукционном процессе**

Ярус, функционально-ценотическая группа	Примерное списочное число видов	Процент в БР
Древостой	20	70...85
Подлесок	30	5...20
Травяно-кустарничковый	400*	5...15
Мохово-лишайниковый	300*	1...10

Примечание. В мертвопокровных молодняках участие древесного яруса приближается к 100 %. Звездочкой отмечено округленное число видов сосудистых растений. Полные флористические списки в 2,5–3,0 раза больше.

Древесные растения – узловой элемент структуры лесных БГЦ. Хотя древостой является самой малочисленной группой видов лесного фитоценоза, но именно он создает особый микроклимат для прочих лесных видов. Ярус лесообразователей – ключ к анализу БР остальных ярусов. С БР древесного яруса, однако, достаточно тесно коррелирует только БР подлеска. В травяно-кустарничковом ярусе обилие видов, даже специфических лесных покровообразующих, слабо связано с БР верхних ярусов фитоценоза (табл. 2) [8]. Корреляция числа видов мохово-лишайникового и древесного ярусов недостоверная отрицательная. Мхи и лишайники не требуют лесной среды, для них лес, стволы и ветви деревьев, детрит и почва – субстрат, помогающий уйти от вытеснения травостоем.

БР фитоценозов нельзя рассматривать отдельно от экологической структуры ландшафтов. В любой лесорастительной зоне есть экотопы, бедные в силу низкой трофности, и богатые, способные вместить огромное число видов. Только в контексте сетки экотопов (эдафической) можно судить о БР. Такую сетку задает система типов леса в их расширенной трактовке, когда под типом понимают все этапы сукцессионных рядов, ведущих к данному коренному типу [12, 15, 19 и др.].

Первые сводки по типам равнинных лесов ЕТР выполнены еще в конце 1800-х гг. В 1960–1970-е гг. появились официальные инструкции ВНИИЛМ по описанию типов леса при лесоустройстве, разработанные в лаборатории А.В. Побединского. В их составлении участвовали А.Я. Орлов и А.В. Абатуров – исследователи Института лесоведения РАН [9, 12]. Типологические описания лесов РФ, составленные ВНИИЛМ, классифицируют экотопы, занимаемые лесами: по положению на рельефе, влажности, механическому составу грунтов, типам почвообразования и водного питания, другим параметрам, определяющим состав коренных и производных растительных сообществ, появление которых в данном экотопе наиболее вероятно. В 2004 г., руководствуясь рекомендациями А.Я. Орлова и В.В. Осипова, авторы расширили схему типов равнинных лесов ЕТР [13], дополнив ее рядом на супесчаных почвах и описаниями типов широколиственных и лесостепных лесов. Все описания были изложены по единой уточненной схеме.

Таблица 2

**Корреляции БР (потенциальное число видов) древесного яруса с видовым разнообразием подчиненных ярусов (корреляционное отношение  $\eta$ )**

Ярус, функционально-ценотическая группа	Списочное число видов	$\eta$
Древостой	21	1,0
Подлесок	28	0,7
Травяно-кустарничковый:		
покровообразователи	36	0,4
сопутствующие	68	0,2
опушечные	120	0,1
весенние	18	0,1
Мохово-лишайниковый	34*	0,0

\*Список наиболее распространенных видов [18].

Таблица 3

**Доминирующие лесообразующие породы и классы бонитета  
по группам типов равнинных лесов ЕТР**

Группа типов леса	Зона (подзона)					
	Тайга			Смешанные леса	Широколиственные леса	Лесостепь
	северная	средняя	южная			
Экологический ряд на суглинистых почвах (рамени)						
1	–	E <sub>2-3</sub>	E <sub>1-2</sub>	E-Лп <sub>1-0</sub>	<b>Лп-Д(Яс)</b> <sub>1-2</sub>	Д(Яс) <sub>3-6</sub>
2	E <sub>3-4</sub>	E <sub>2-3</sub>	<b>Е(Бб)</b> <sub>1-2</sub>	<b>Е(Лп)</b> <sub>1-2</sub>	<b>Лп(Д, Яс)</b> <sub>1-0</sub>	Д(Лп, Яс) <sub>1-2</sub>
3	E <sub>4-5</sub>	<b>Е</b> <sub>3-4</sub>	<b>Е(Бб, Бп)</b> <sub>2-3</sub>	<b>Е(Лп)</b> <sub>2-3</sub>	Лп <sub>1-2</sub>	Лп-Д <sub>1-2</sub>
4	<b>Е(С)</b> <sub>5</sub>	E(C) <sub>5</sub>	E(Бп) <sub>4-5</sub>	E(Лп, Бп) <sub>3-4</sub>	–	–
5	C <sub>5-6</sub>	C <sub>5-6</sub>	C <sub>4-6</sub>	C <sub>4-5</sub>	Бп, Ос (Д) <sub>4-6</sub>	Д(Ос) <sub>5-6*</sub>
6	E(Бп) <sub>4-5</sub>	E(Бп) <sub>3-4</sub>	E(Бп) <sub>2-3</sub>	E-Лп(Бп) <sub>1-2</sub>	Лп-Вз(Д) <sub>1-2</sub>	Д(Вз) <sub>1-2</sub>
7	Бп(Е) <sub>5</sub>	Бп(Е) <sub>4-5</sub>	Бп(Е) <sub>3-4</sub>	Бп, Олс <sub>3-4</sub> Тч <sub>1-3</sub>	Бп, Олс <sub>3-4</sub> Тч <sub>1-3</sub>	– Тч <sub>1-3</sub>
Экологический ряд на обогащенных легких отложениях (субори)						
1	C(Е) <sub>3-4</sub>	C(Е) <sub>2-3</sub>	C(Е) <sub>1-2</sub>	C <sub>1-2</sub>	C-Д <sub>2-3</sub>	Д-С <sub>3-4</sub>
2	E(C) <sub>3-4</sub>	<b>Е(С)</b> <sub>2-3</sub>	<b>Е-С</b> <sub>0-1</sub>	<b>С-Е-Лп</b> <sub>0-1</sub>	<b>С-Д-Лп</b> <sub>1-2</sub>	Д(С) <sub>1-2</sub>
3	<b>Е-С</b> <sub>4</sub>	<b>Е-С</b> <sub>3</sub>	<b>С(Е)</b> <sub>1-2</sub>	<b>С(Е)</b> <sub>1-2</sub>	<b>С-Лп(Д)</b> <sub>0-1</sub>	–
4	<b>С(Е)</b> <sub>4-5</sub>	<b>С(Е)</b> <sub>3-4</sub>	C(Е) <sub>2-3</sub>	C(Е) <sub>2-3</sub>	–	–
5	C <sub>5-6</sub>	C <sub>5-6</sub>	C <sub>4-5</sub>	C <sub>3-4</sub>	–	–
6	E(C) <sub>4-5</sub>	C(Е) <sub>4-5</sub>	C(Е) <sub>3-4</sub>	С-Бп <sub>3</sub>	С-Бп, Бб(Д) <sub>2-3</sub> Тб <sub>1-2</sub>	Д(Вз, Ос, Лп) <sub>2-3</sub> Тб <sub>1-2</sub>
7	С(Бп) <sub>5-6</sub>	С(Бп) <sub>4-6</sub>	С(Бп) <sub>4-5</sub> Олч <sub>2-3</sub>	С(Бп) <sub>3-4</sub> Тч, Олч <sub>1-3</sub>	Бп(С) <sub>4-5</sub> Тч, Олч <sub>1-2</sub>	Олч <sub>1-2</sub> Ив, Тч
Экологический ряд на песчаных почвах (боры)						
1	C <sub>4</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>3-4</sub>	C <sub>3-4</sub>	С(Бб) <sub>3-4</sub>	С-Д <sub>3-5</sub>
2	C(Е) <sub>4-5</sub>	<b>С(Е)</b> <sub>3-4</sub>	<b>С(Е)</b> <sub>2-3</sub>	<b>С</b> <sub>2-3</sub>	<b>С(Бб, Д)</b> <sub>2-3</sub>	С-Д <sub>3-4</sub>
3	<b>С(Е)</b> <sub>4-5</sub>	C(Е) <sub>3-4</sub>	C <sub>2-3</sub>	C <sub>1-2</sub>	С(Бб, Д) <sub>2</sub>	–
4	C <sub>5</sub>	C <sub>4-5</sub>	C <sub>3-4</sub>	C <sub>3</sub>	–	–
5	<b>С</b> <sub>5-6</sub>	<b>С</b> <sub>5-6</sub>	C <sub>4-5</sub>	C <sub>4-5</sub>	–	–
6	C <sub>5-6</sub>	C <sub>4-6</sub>	C <sub>4-5</sub>	С(Бп) <sub>3-4</sub>	С-Бп, Бб(Д) <sub>2-3</sub>	Тб, Д <sub>3-4</sub>
7	С(Бп) <sub>5</sub>	С(Бп) <sub>4-5</sub>	С(Бп) <sub>4-5</sub>	С(Бп) <sub>3-4</sub> Олч <sub>2-3</sub>	Бп(С) <sub>3</sub> Тч, Олч <sub>1-2</sub>	Олч <sub>2</sub> Ив <sub>1-2</sub>

Примечание. Жирным шрифтом выделены типы, преобладающие в данном экологическом ряду. В лесостепной зоне звездочкой отмечены дубово-осиновые колки.

В шести лесорастительных зонах и подзонах (северная, средняя и южная тайга, смешанные, широколиственные леса и лесостепь) описаны три почвенно-экологических ряда (рамени, субори, боры), пять гигротопов с автоморфным водным питанием и два с напорным. Сетка, покрывающая равнинные леса, состоит из 126 потенциальных экотопов, из которых в натуре представлены 113 (табл. 3). Так, в ряду раменей северной тайги нет сухого гигротоба; в лесостепи в боровом ряду среди экотопов с автоморфным водным питанием нет переувлажненных [13].



Группы типов леса 1–5 подразделены по гигротопам в диапазоне от недостатка влаги (1) до ее избытка (4, 5), вызывающего заболачивание (5). Дополнительно выделены группы типов леса проточного (напорного) увлажнения (6, 7), связанные с гидрографической сетью.

Группы типов леса в табл. 3 обозначены индексами доминант (в скобках кодоминант) древесного яруса модальных лесов с подстрочным цифровым указанием класса бонитета древостоев: Бп – береза пушистая; Бб – береза повислая; Вз – вяз гладкий; Д – дуб черешчатый; Е – ель (ряд *Picea abies* → *P. × fenica* → *P. obovata*); Ил – вяз шершавый; Ив – древовидные ивы (*Salix alba* и *S. fragilis*); Лп – липа мелколистная; Олс – ольха серая; Олч – ольха черная; Ос – осина; С – сосна обыкновенная; Тб – тополь белый; Тч – тополь черный; Яс – ясень обыкновенный; Ia класс ~ 0, I класс ~ 1, ..., V ~ 5, Va ~ 6. Всего для ЕТР указано 15 основных лесообразователей.

Каждой ячейке этой эдафической сетки соответствует свое, достаточно строго определенное видовое БР. Чтобы установить число видов в данном экотопе, в рамках сетки табл. 3 построены ареалы каждого из 325 видов, обычных в лесах ЕТР. Достоверность реконструкции эдафических ареалов в ряде случаев оставляет желать лучшего, однако многочисленность видов обеспечивает устойчивость и надежность общих выводов. Числа видов по ячейкам табл. 3 характеризуют БР равнинных типов леса ЕТР [13, с. 52, 72–82].

Список основных лесообразователей состоит из 21 вида и кроме доминант включает виды, способные образовывать временные древостои (например *Acer platanoides*) или связанные исключительно с восточной частью равнинных лесов ЕТР (*Abies sibirica*). Сетка табл. 3 дает возможность накапливать, систематизировать и анализировать данные о видовом БР типов леса в связи с подвижностью породного состава, временем восстановления лесов после нарушающих воздействий и пр. [13].

По общему разнообразию растительных видов лесные фитоценозы естественно подразделяются на богатые ( $\geq 70$  видов из 325 описанных нами) и бедные ( $\leq 50$  видов). Распределение 113 экотопов, выделенных на равнинах ЕТР, по числу видов бимодально. Бимодальность не выражена по обилию лесообразующих древесных и покровообразующих травяно-кустарничковых растений. Зато виды подлеска, минорные и опушечные травянистые малочисленны в бедных экотопах и обильны в богатых [13, с. 54], которые приурочены к оптимальным почвенно-гидрологическим условиям, допускающим вселение дополнительных минорных и «чуждых» видов в структуры, созданные ценозообразователями (табл. 4).

Области БР для богатых и бедных типов леса не перекрываются: они включают либо меньше, либо больше 60 видов. Это затрудняет исследование БР лесов в связи с характеристиками их продуктивности и устойчивости. Например, зависимость от БР показателя устойчивости лесов по времени их восстановления ( $T$ ) после стандартного нарушения [13, с. 40–56] складывается из двух частей: для богатых и бедных фитоценозов.

Таблица 4

**Группы типов леса с разнообразным ( $r \geq 70$  видов)  
и скудным ( $p \leq 50$  видов) суммарным видовым составом фитоценозов**

Группа типов леса	Зона (подзона)					
	Тайга			Смешанные леса	Широколиственные леса	Лесостепь
	северная	средняя	южная			
	Рамени					
1	–	–	–	–	–	<i>p</i>
2	<b>r</b>	<b>r</b>	<b>r</b>	<b>r</b>	<b>r</b>	<b>r</b>
3	<b>r</b>	<b>r</b>	<b>r</b>	<b>r</b>	<b>r</b>	<b>r</b>
4	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	–	–
5	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>
6	<b>r</b>	<b>r</b>	<b>r</b>	<b>r</b>	<b>r</b>	<b>r</b>
7	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>
	Субори					
1	<i>p</i>	<i>p</i>	–	–	<i>p</i>	<i>p</i>
2	<b>r</b>	<b>r</b>	<b>r</b>	<b>r</b>	<b>r</b>	<b>r</b>
3	<b>r</b>	<b>r</b>	<b>r</b>	<b>r</b>	<b>r</b>	–
4	<i>p</i>	<i>p</i>	–	–	–	–
5	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	–	–
6	<b>r</b>	<b>r</b>	<b>r</b>	<b>r</b>	<b>r</b>	<b>r</b>
7	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>
	Боры					
1	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>
2	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>
3	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	–
4	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	–	–
5	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	–	–
6	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>
7	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>	<i>p</i>

Примечание. Прочерки соответствуют  $N$  видам,  $70 > N > 50$ .

Только сократив характеристику БР до одного древесного яруса, мы получим однозначную и логичную характеристику  $T$  как функции БР [13]. Наиболее устойчивые группы типов леса имеют среднее БР древесного яруса (6...11 видов). Для богатых и бедных древесных флор характерны большая вероятность катастрофических событий и медленное восстановление после нарушений.

Хотя древесный ярус и определяет саму возможность существования лесной травяной растительности, его БР нельзя однозначно связать с БР травяно-кустарничкового яруса (см. табл. 2). БР травостоя зависит от видовой структуры древесного яруса намного слабее, чем от его сомкнутости и подпологовой освещенности [8]. Как в древесном ярусе, среди трав и кустарничков мы выделяем основные, дополнительные и сукцессионные виды.

Таблица 5

**Видовое разнообразие летнего травяного покрова надпойменных широколиственных лесов раменного ряда в европейской лесостепи**

Тип покрова	Класс бонитета	Число видов	
		списочное	регулярных доминант
Снытевый, снытево-осоковый	I-II	17...32	2-3
Пролесниковый, крапивный	II	24...33	3
Осоковый, осоково-снытевый	II-III	25...32	2-3
Осоковый, осоково-злаковый, звездчатковый	III-IV	35...43	2-3
Осоково-злаковый солонцовый	IV-Va	43...59	3

Проиллюстрируем логику членения БР травяно-кустарничкового яруса на примере 1600 га внепойменных широколиственных лесов Теллермановского опытного лесничества (лесостепь). Они были картированы нами по видам-доминантам летнего травяного покрова. Из 78 описанных видов [11] в каждом типе леса господствуют 2-3. На 80 % обследованной территории сложение травяного покрова определяют сныть и осока волосистая; на 18 % – осока волосистая или она же со злаками; на 2 % – сныть, пролесник и крапива. В целом список регулярных покровообразователей, которые в своих типах леса преобладают более чем на половине учетных площадок, насчитывает лишь 3...8 видов. Остальные 50...70 видов лесного травяного покрова (минорные виды) используют среду, созданную покровообразователями (табл. 5).

Подробное описание флоры Теллермановской рощи [5] включает в совокупности нагорных типов леса около 300 видов сосудистых растений, по 110...140 на каждый тип леса. Наиболее богаты (до 170 видов) экотоны – переходные, опушечные местообитания и солонцовые поляны. Степные, луговые, сорные виды вторгаются под разреженный лесной полог [11]. Высокое БР травостоев складывается на вырубках в нагорных ясенедубравах, где из 83 зарегистрированных видов, не считая весенних эфемероидов, только 17 относятся к лесным [7]. Среди видов, избегающих сомкнутого лесного полога, представлены не только сорно-рудеральные эврибионты, но и типично лесные растения, постоянно использующие многочисленные «окна». Условно всю эту группу можно назвать «опушечной».

Особую группу составляют виды, формирующие весенний покров и ориентированные на максимум продуцирования при неполном облиствении древесного яруса и высокой освещенности [23]. Сюда мы относим не только «классические» весенние эфемероиды, но и все виды, начинающие вегетацию до полного облиствения древесного яруса, а к середине лета постепенно вытесняемые летним травостоем.

Несмотря на обилие работ по внутривидовому, внутривидовому формовому разнообразию, его редко анализируют как аспект БР. Комбинативная изменчивость и рекомбинации создают в каждом посеве набор форм, преадаптированных ко всем случаям жизни, и жизнь каждого поколения начинается вспышкой БР [4, 14 и др.]. С возрастом отбор сужает

БР посева, оставляя формы, приспособленные к конкретным эдафическим и фитоценотическим условиям места поселения. Процесс «сжатия» [4] отслеживается и по моногенным белковым, и по полигенным количественным признакам [4, 14, 16]. Генофонд поколения в своем развитии стремится к определенному уровню БР. При этом обозначены две крайние тенденции и две группы признаков: адаптивные (макроадаптационные) и «нейтральные» (микроадаптационные).

Под макроадаптационными мы понимаем наследуемые формообразующие признаки, имеющие явное морфологическое (физиологическое) выражение, адаптационное значение и (или) экологическую специализацию. Например, фенологические формы дуба черешчатого в лесостепных нагорных дубравах на суглинках: поздняя – нагорные дубравы и днища балок; ранняя – бровки и окраинные террасы надпойменных плато и поймы [23]; или формы строения корневых систем у сосны обыкновенной: плоская поверхностная доминирует в болотных сосняках, объемная, со стержневым корнем – в суходольных [17]. Микроадаптационные формообразующие признаки не имеют явных морфофизиологического выражения и экологической специализации, они представлены во всех экотопах, с небольшими частотными различиями (например, аллельные варианты многих ферментных систем [10]).

При отборе по макроадаптационным признакам разнообразие посева сужается до 0,50...0,25 исходного БР [14, 16 и др.]. Избыточное БР, сохраненное в средневозрастных насаждениях, ведет к интенсивному селективному отпаду менее конкурентных форм [23, с. 276–279]. Избыточная однородность насаждения по макроадаптационным признакам также определяет их неустойчивость («эффект группового угнетения»).

По нейтральным микроадаптационным признакам отбор практически не происходит, и посев сохраняет до старости прирожденный уровень БР. При искусственном сокращении изменчивости по микроадаптационным признакам она восстанавливается в последовательности поколений, причем в каждом изоляте своим путем, на чем основан метод «молекулярных часов» (степень расхождения изолятов по нейтральным признакам пропорциональна времени разделения). БР микроадаптационных признаков, поддерживаемое рекомбиогенезом и мутагенезом, придает популяции определенный уровень гетерозиготности.

Анализировать внутривидовое (формовое) БР следует на популяционном уровне в генеративно спелых поколениях (посевах). Взаимосвязь формового БР с устойчивостью и продуктивностью древостоев схематически представлена в табл. 6. Мерой устойчивости служит время, необходимое для восстановления формовой структуры посева после ее нарушения [13, 14].

Структура ландшафта, ее сложность определяют существование центров, «рефугиумов» БР. В сложных ландшафтных комплексах, являющихся местами компактного сосредоточения БР замещающих видов и форм, каждый объект получает свою нишу, близко соседствующую с нишами других замещаемых объектов. Такие комплексы представляют наибольший интерес для организации особо охраняемых природных территорий. Их типологическое БР – условие максимальной реализации БР видового и БР внутривидового (формового).

Таблица 6

**Устойчивость насаждений в зависимости от класса бонитета и формового БР  
(% потенциального) по макро- и микроадаптационным признакам**

Класс бонитета	БР признаков, %							
	макроадаптационных				микроадаптационных			
	0...25	25...50	50...75	75...100	0...25	25...50	50...75	75...100
> I	с	н	–	–	н	с	с	с
I-II	У	н	н	–	н	с	У	У
III-IV	У	с	с	н	н	с	с	У
≤ V	У	У	У	н	–	–	с	У

Примечание. У – устойчивые: структура внутривидового БР восстанавливается в течение жизни одного или нескольких поколений; с – среднеустойчивые; н – неустойчивые: изменения структуры БР сохраняются неограниченно долго.

Проблему БР желательно ставить и решать в более общем виде – исследовать принципы видовой конструкции биоценозов или (и) формовой структуры популяций. Гетеротрофные организмы при включении в круг описаний БР потребуют еще более тщательной дифференциации по функциональным группам и синузиям. Превзойти видовые списки можно только при обоснованном и дробном членении биоценоза на структурно-функциональные, структурно-ценотические группы. Попытка такого подхода к оценке БР лесных фитоценозов представлена нами ранее [13].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алтухов, Ю.П. Генетика популяций и сохранение биоразнообразия [Текст] / Ю.П. Алтухов // Соросовский образовательный журнал (Soros Educational Journal). – 1995. – № 1. – С. 32–43.
2. Волков, А.Д. Методологические проблемы исследования биоразнообразия и тенденции его изменения в связи с хозяйственной деятельностью [Текст] / А.Д. Волков, А.Н. Громцев // Экология таежных лесов: тез. докл. Междунар. конф. – Сыктывкар: Ин-т биологии Коми НЦ УрО РАН, 1998. – С. 14–15.
3. Дубравы лесостепи в биогеоценологическом освещении [Текст]. – М.: Наука, 1975. – 374 с.
4. Животовский, Л. «Сжатие» генотипической изменчивости при стабилизирующем отборе и ее проявление на ранних стадиях онтогенеза [Текст] / Л. Животовский, В.А. Духарев // Журн. общ. биологии. – 1985. – Т. 46, № 1. – С. 32–40.
5. Завидовская, Т.С. Эколого-географический анализ флоры Теллермановского лесного массива [Текст]: автореф. дис... канд. биол. наук: 03.00.16 / Т.С. Завидовская. – М.: ИЛАН, 2006. – 24 с.
6. Крышень, А.М. Динамика растительности на свежих вырубках в ельнике черничном [Текст] / А.М. Крышень // Лесоведение. – 1998. – № 6. – С. 55–62.
7. Матвеева, А.А. Травяной покров сплошных лесосек и его влияние на возобновление древесных пород и культуры дуба в Борисоглебском лесном массиве [Текст] / А.А. Матвеева // Тр. Ин-та леса. – 1957. – Т. 33. – С. 146–165.
8. Миркин, Б.М. Фитоценология в охране растительности [Текст] / Б.М. Миркин // Природа. – 1988. – № 7. – С. 32–42.
9. Орлов, А.Я. Почвенно-экологические основы лесоводства в южной тайге [Текст] / А.Я. Орлов. – М.: Наука, 1991. – 104 с.

10. *Падутов, В.Е.* Генетические ресурсы сосны и ели в Беларуси [Текст] / В.Е. Падутов. – Гомель: ИЛ НАН Беларуси, 2001. – 144 с.
11. *Петров, А.П.* Типы леса Теллермановского лесного массива [Текст] / А.П. Петров // Тр. Ин-та леса. – 1957. – Т. 33. – С. 16–58.
12. Рекомендации по выделению коренных и производных групп типов леса лесной зоны РСФСР [Текст]. – М.: ВНИИЛМ, 1979. – 61 с.
13. *Романовский, М.Г.* Продуктивность, устойчивость и биоразнообразие равнинных лесов Европейской России [Текст] / М.Г. Романовский. – М.: МГУЛ, 2002. – 92 с.
14. *Романовский, М.Г.* Полиморфизм древесных растений по количественным признакам [Текст] / М.Г. Романовский. – М.: Наука, 1994. – 96 с.
15. *Рысин, Л.П.* В.Н. Сукачев и лесная типология [Текст] / Л.П. Рысин // Идеи биогеоценологии в лесоведении и лесоразведении. – М.: Наука, 2006. – С. 19–31.
16. *Санников, С.Н.* Дифференциация популяций сосны обыкновенной [Текст] / С.Н. Санников, И.В. Петрова. – Екатеринбург: УрО РАН, 2003. – 247 с.
17. *Сибирякова, М.Д.* Типы леса лесорастительных районов [Текст] / М.Д. Сибирякова. – М.: Гослесбумиздат, 1962. – 208 с.
18. *Стороженко В.Г.* Грибы как компонент лесного биогеоценоза [Текст] / В.Г. Стороженко // Идеи биогеоценологии в лесоведении и лесоразведении. – М.: Наука, 2006. – С. 136–151.
19. *Сукачев, В.Н.* Дендрология с основами лесной геоботаники [Текст] / В.Н. Сукачев. – Л.: Гослестехиздат, 1938. – 615 с.
20. *Уткин, А.И.* «Лесообразовательный процесс» – концепция российского лесоведения [Текст] / А.И. Уткин // Лесоведение. – 1999. – № 3. – С. 13–23.
21. *Цветков, В.Ф.* О динамике типа леса в связи со сплошнолесосечными рубками на Севере [Текст] / В.Ф. Цветков // Лесоводство Севера на рубеже столетий. II Мелеховские чтения: тр. XI съезда Рус. геогр. об-ва. – 2000. – Т. 8. – С. 73–75.
22. *Чумаченко, С.И.* Базовая модель динамики многовидового разновозрастного лесного ценоза [Текст] / С.И. Чумаченко // Вопросы экологии и моделирования лесных экосистем: науч. тр. МГУЛ. – М., 1992. – Вып. 248. – С. 147–180.
23. Экосистемы Теллермановского леса [Текст] / отв. ред. В.В. Осипов; Ин-т лесоведения. – М.: Наука, 2004. – 340 с.
24. *Kerr, J.T.* Habitat heterogeneity as a determinant of mammal species richness in high-energy regions [Text] / J.T. Kerr, L. Packer // Nature. – 1997. – Vol. 385. – P. 252–254.

Поступила 11.03.08

*M.G. Romanovsky<sup>1</sup>, S.N. Tarkhanov<sup>2</sup>, R.V. Shchekalev<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Institute of Forestry RAS

<sup>2</sup> Institute of Ecological Problems of the North Ural Branch of RAS

### **Approaches to Biodiversity Description of Plain Forests in European Russia**

The extended scheme of plain forests in the European Russia is provided allowing to describe, classify biocenosis species biodiversity and analyze interrelations of their layers and components. It is recommended to analyze separately the changeability of neutral and adaptive features for intrapopulation biodiversity investigation. The necessity of mapping composite landscape complexes - biodiversity centers is demonstrated.

Keywords: biodiversity, forest types, populations.

УДК 630\*235.6

**В.А. Ананьев<sup>1</sup>, С.И. Грабовик<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Институт леса Карельского НЦ РАН

<sup>2</sup>Институт биологии Карельского НЦ РАН

Ананьев Владимир Александрович родился в 1946 г., окончил в 1968 г. Петрозаводский государственный университет, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, старший научный сотрудник Института леса Карельского НЦ РАН. Имеет более 90 печатных работ в области лесоводства, гидролесомелиорации.  
E-mail: ananyev@krc.karelia.ru



Грабовик Светлана Ивановна родилась в 1950 г., окончила в 1974 г. Петрозаводский государственный университет, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института биологии Карельского НЦ РАН. Имеет более 90 печатных работ в области геоботаники.  
E-mail: grabovic@krc.karelia.ru



## **РОСТ И ФОРМИРОВАНИЕ БЕРЕЗОВЫХ И БЕРЕЗОВО-ЕЛОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ ПОСЛЕ ОСУШЕНИЯ И РУБОК**

Выявлено влияние напочвенного покрова на возобновление ели в осушенных березняках. Исследована динамика прироста и отпада в осушенных березово-еловых древостоях после рубок переформирования. Показана динамика перехода подроста ели в основную часть древостоев за 20-летний период наблюдений.

*Ключевые слова:* гидролесомелиорация, рубки, рост и продуктивность древостоев, напочвенный покров.

В южной части Карелии 8 % заболоченных лесов представлено насаждениями с преобладанием березы, которые, наряду с сосняками и ельниками, широко вовлекались в осушение. Площадь березняков на осушенных болотах достигает 40 %.

Исследованиями осушенных березняков занимались разные авторы. Так, в работе В.М. Медведевой [7] проанализированы в статике таксационные показатели березняков осоково-сфагнового и разнотравно-хвощового типов леса с различной давностью осушения, приведена масса органического вещества по отдельным компонентам древостоя. С.Г. Жильцовой [5] изучены типы леса и классы бонитета березняков Сибири, их флористический состав. Наиболее интересна работа В.И. Архипова и В.И. Березина [1], в которой по данным хода роста модельных деревьев выявлено влияние лесосоосушительной сети на таксационную характеристику березняков.

Для получения максимального эффекта, наряду с осушительной мелиорацией, необходимо проводить различные лесохозяйственные мероприятия (рубки главного пользования, ухода и реконструкции), способствующие повышению продуктивности и улучшению товарной структуры. При определении форм хозяйства по способам рубок следует учитывать качество и состояние естественного возобновления, строение, возрастную структуру, состав и особенности хода роста древостоев после осушения.

В целом березовые и березово-еловые древостои – малоизученный объект гидромелиорации. Сведений о росте, продуктивности, товарности и естественном возобновлении под их пологом недостаточно для планирования устойчивого ведения лесного хозяйства. В целях уточнения методов выращивания продуктивных и качественных древостоев после осушения изучены естественное возобновление под пологом леса, товарная структура, а также результаты рубок переформирования.

Влияние напочвенного покрова на естественное возобновление исследовано на осушенных мезотрофных травяно-сфагновых болотах на территории Киндасовского лесоболотного научного стационара КарНЦ РАН, расположенного в средней подзоне тайги, в заказнике Койву-Ламбасуо (61°48' с.ш. и 33°35' в.д.). Эти болота очень разнообразны по структуре растительного покрова. Мы обследовали безлесные и слабооблесенные болотные участки комплексного строения. До осушения на безлесном болоте доминировал кочковато-топяной травяно-сфагновый *Sphagneta centrale+Herbeto-Sphagneta subsecundi* комплекс (50 %). Растительный покров был представлен сообществами кочек и мочажин. Подавляющую часть кочковато-топяного комплекса (70 %) занимали сообщества мочажин *Carex lasiocarpa* Ehrh. – *Menyanthes trifoliata* L. Растительный покров кочек составляли сообщества *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench. – *Sphagnum centrale* G. Leus.+*Sphagnum angustifolium* (Russ.) C. Jens., единично *Betula pubescens* Ehrh. или *Pinus sylvestris* L. высотой до 2 м. Мощность низинной торфяной залежи, которая подстилается глиной, не превышает 1 м [2, 3].

На слабооблесенном болоте до осушения в кочковато-западинном комплексе *Sphagneta angustifolii+Herbeto* с редкой *Betula pubescens* основными элементами являлись кочки, на которых росли сообщества *Betula pubescens* – *Chamaedaphne calyculata* – *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt. и *Andromeda polifolia* L. – *Carex lasiocarpa* – *Sphagnum angustifolium*. Понижения заняты сообществами *Phragmites australis* – *Carex lasiocarpa*. Деревья здесь были низкие (2...4 м), древостой малосомкнутый (0,2), низинная торфяная залежь глубиной 1,5 м подстилается глиной [2, 3].

В 1970–1971 гг. болота были осушены сетью открытых канав, проложенных через 160 и 180 м соответственно, согласно параметрам лесосушительной сети в условиях Карелии [10]. В настоящее время канавы практически не функционируют. За 25-летний период наблюдений средние значения УГВ в течение вегетационного периода колебались в самые засушливые годы, достигая 40...45 см на середине межканавных полос шириной 160 м и 36...55 см ниже поверхности сфагнового ковра при ширине полос 180 м.

Многолетние стационарные исследования динамики растительного покрова после осушения выявили разную скорость и направленность сукцессий, а также существенные изменения структуры растительного покрова на пробных площадях с комплексным строением растительного покрова.

Через 25 лет после осушения на месте прежнего кочковато-топяного травяно-сфагнового (*Sphagneta centrale+Herbeto-Sphagneta subsecundi*)



комплекса сформировалось древесно-травяное сообщество *Betuleto-Herbeta*. Состав древостоя 9Б<sub>30</sub>1С<sub>50</sub>, полнота 0,8, средняя высота березы 9,3 м, средний диаметр 9,6 см, у сосны соответственно 10,2 м и 10,1 см, общее число стволов 1991 шт./га, в том числе 1849 шт./га березы, выросшей в основном после осушения. На появление подроста ели под пологом осушенных березняков существенно влияет напочвенный покров, развитие которого зависит от полноты древостоев, давности осушения и условий местопроизрастания.

В 30-метровой полосе вдоль канавы в напочвенном покрове ковров и бывших мочажин болотные растения еще сохранились, но их проективное покрытие значительно снизилось, внедряются лесные виды, которые пока не играют значительной роли. Проективное покрытие травяного яруса не превышает 45 %. На микроповышениях поселяются отдельные виды луговых зеленых мхов (*Brachythecium oedipodium* B.S.G., *Plagiothecium denticulatum* (Hedw.) B.S.G.). Светолюбивые растения (*Calamagrostis neglecta* P.V., *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop.) образуют вейниково-разнотравные сообщества, которые на открытых местах (в окнах) препятствуют лесовозобновительному процессу. А такие виды как *Angelica sylvestris* L., *Dryopteris cartusiana*, *Equisetum sylvaticum* L., *Trientalis europaea* L. и др. составляют группу теневыносливых видов, наиболее распространенных под пологом *Betula pubescens*.

На середине межканавной полосы шириной 160 м, осушенной менее интенсивно, типично болотные сообщества мочажин перестраиваются медленно, видовой состав изменяется в том же направлении, что и в приканавной полосе. Удлиняется период доминирования гигромезофильных и гигрофильных видов, но при дальнейшем действии осушения уменьшается степень покрытия мезотрофного болотного разнотравья. Внедрение лесных видов здесь отмечается только через 25 лет после осушения, но их доля в напочвенном покрове совсем незначительна. *Calamagrostis neglecta* также образует различные сообщества, препятствующие лесовозобновительному процессу. Проективное покрытие трав достигает 60 %. При слабом осушении сохраняется очень высокий коэффициент участия *Calamagrostis neglecta*. Разрастаясь, он продуцирует мощную дернину и слой сухой ветоши, в результате процесс естественного облесения затухает уже в первое десятилетие после осушения.

Зависимость темпов естественного облесения безлесных осушенных болот от характера напочвенного покрова отмечали С.П. Ефремов [4], В.Ю. Нешатаев [9], J. Laine et al. [12]. Необлесившиеся в первые годы после осушения открытые участки быстро зарастают светолюбивыми растениями (*Calamagrostis neglecta*, *Chamaenerion angustifolium*, *Epilobium palustre* L., *Betula nana* L.). А такие виды как *Angelica sylvestris*, *Dryopteris cartusiana*, *Equisetum sylvaticum*, *Trientalis europaea*, *Pyrola rotundifolia* L. и др. стабилизируются в составе теневыносливых групп не раньше 20–30-летнего возраста пионерных древостоев. В.Ю. Нешатаев также отмечает, что при давности осушения более 10 лет на травяно-сфагновых болотах разрастается *Rubus idaeus*, особенно много ее в березняках с невысокой сомкнутостью древесного яруса.

В сообществе *Betuleto-Herbeta* через 25 лет после осушения растительный покров приствольных кочек представлен фитоценозом *Betula pubescens*–*Pleurozium schreberi*+*Hylocomium splendens* (Hedw.) B.S.G. В результате дальнейшего смыкания верхнего полога травяно-кустарничковый ярус изреживается и проективное покрытие не превышает 35 %. Отдельные лесные виды, такие как *Dryopteris carthusiana*, *Pyrola rotundifolia*, *Rubus arcticus*, образуют небольшие куртины. Болотные виды *Andromeda polyfolia*, *Chamaedaphne calyculata* выпадают. Сфагновый покров изреживается. В данных условиях через 25 лет после осушения сформировался высокополнотный березовый древостой с запасом 160 м<sup>3</sup>/га, состав 10Б<sub>45</sub>, ед. Е, С, средняя высота березы 12,3 м, средний диаметр 12,0 см, ели соответственно 5,2 м и 6,7 см, общее число стволов 2011, в том числе березы 1978 шт./га. В результате смыкания верхнего полога и, как результат, образования лесной подстилки улучшились условия для естественного возобновления ели. По данным учета установлено, что под пологом исследуемого древостоя через 25 лет после осушения насчитывается 3500 шт./га жизнеспособного елового подростка. При наличии такого количества подростка и высокой его встречаемости (68 %) в дальнейшем при условии устойчивой работы осушительной сети исследуемые короткопроизводные осушенные березняки (продолжительность существования первого поколения березы 70...80 лет) трансформируются в длительнопроизводные еловые насаждения нормальной производительности. Данные категории насаждения выделены по классификации В.Н. Федорчук и др. [11].

Хозяйственная ценность мелиорируемых насаждений зависит от их состояния после осушения. По данным обследования осушенных спелых листовенно-еловых насаждений, от 20 до 70 % деревьев березы имели напennую гниль и могут быть использованы только как дровяная древесина.

Рациональное использование потенциального плодородия болот после осушения состоит в выращивании более ценных хвойных насаждений взамен низкотоварных листовенных путем проведения рубок, направленных на улучшение санитарного состояния и товарной структуры. Нормативы по способам рубок должны основываться на данных динамики прироста и устойчивости изреживаемых березово-еловых насаждений.

Объектом исследования в Карелии явились березово-еловые насаждения Юркостровского лесничества Кондопожского лесхоза, осушенные в 1976 г. сетью открытых каналов глубиной 1,0...1,5 м с расстоянием между ними 120...150 м. Состояние осушительной сети удовлетворительное. На протяжении всего периода наблюдений норма осушения была обеспечена. Мощность торфяной залежи переходного типа на участке варьировала от 0,4 до 1,5 м, торф хорошо разложившийся (более 25 %) и богат зольными элементами (зольность 11,5 %). Исследования начаты в 1983 г., через 7 лет после осушения.

Состав насаждения до рубки 7Б<sub>90</sub>1Е<sub>150</sub>1Е<sub>80</sub>1С<sub>150</sub>, запас 98 м<sup>3</sup>/га, полнота 0,7 (см. таблицу), тип леса – березняк травяно-сфагновый. В отличие от рекомендаций Н.Н. Неволлина и Н.П. Шленкина [8], которые предлагают



проводить рубки в подобных древостоях в три приема с интервалом 10...15 лет, нами выполнена рубка переформирования в один прием, при этом полностью выбрана береза, перестойные ель и сосна. Интенсивность рубки по числу стволов составила 60, по запасу 87 %, полнота снизилась до 0,14.

При обосновании форм хозяйства по способам рубок в осушенных лесах необходимо учитывать качество и состояние естественного возобновления. Под пологом леса на опытных участках насчитывалось до 2600 шт./га подроста ели. Четкое соблюдение технологии лесосечных работ позволило обеспечить его высокую сохранность (78 %).

После рубок переформирования рост и развитие древостоя идут за счет тонкомера ели, крупного и среднего подроста. Ускорение прироста в высоту и по диаметру способствовало быстрому переходу подроста в основную часть древостоя. В течение первого десятилетия после изреживания число деревьев пересчетных размеров увеличилось на 601 шт./га. Во втором десятилетии интенсивность пополнения древостоев подростом ели снизилась, но в целом была значительной (522 шт./га), кроме того, появилась береза последующего возобновления. В целом за 20-летний период наблюдений общая численность стволов возросла в 4,3, а ели в 4,0 раза. В настоящее время на осушенных землях число деревьев ели достаточно для формирования нормальных высокопродуктивных ельников (с запасом 300 м<sup>3</sup>/га).

Анализ текущего прироста показал, что наиболее интенсивно диаметр увеличивается в первом десятилетии после рубки (в среднем 4,4 см, годичный 0,44 см). Во втором десятилетии прирост по диаметру снижается, но в целом он еще достаточно высок (3,7 см, годичный 0,37 см). Аналогично изменяется текущий прирост по высоте (28...34 см в год).

Увеличение диаметров и высот у молодых деревьев ели и подроста привело к наращиванию запаса. Текущий прирост по запасу в исследуемом насаждении довольно высок (6,4 м<sup>3</sup>/га) и соответствует приросту еловых древостоев черничного типа леса II класса бонитета [6]. После рубок переформирования повышается текущий прирост в основном наиболее ценных в хозяйственном отношении еловых деревьев. К концу 20-летнего анализируемого периода запас восстановился и составил 115 % от дорубочного, доля подроста 53 %. Отпад за этот промежуток времени незначителен (14 деревьев с запасом 0,56 м<sup>3</sup>/га), представлен, как правило, тонкомерными сухостойными деревьями и по величине значительно меньше пополнения, что свидетельствует об устойчивости данной категории к рубкам переформирования.

Анализ материалов позволяет сделать следующие выводы.

1. На ход естественного возобновления ели под пологом осушенных березняков существенно влияет напочвенный покров.

2. Рубки главного пользования с сохранением подроста в березовых древостоях и рубки переформирования в березово-хвойных при наличии достаточного количества молодого елового тонкомера и подроста способствуют выращиванию хозяйственно-ценных и продуктивных еловых древостоев на осушенных землях.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Архипов, В.И.* Анализ влияния лесосушительной сети на таксационную характеристику березовых насаждений [Текст] / В.И. Архипов, В.И. Березин // Гидротехническая мелиорация земель, ведение лесного хозяйства и вопросы экологии: тр. СПбНИИЛХ. – С.-Петербург, 1997. – С. 71–72.
2. *Елина, Г.А.* Биологическая продуктивность болот южной Карелии [Текст] / Г.А. Елина, О.Л. Кузнецов // Стационарное изучение болот и заболоченных лесов в связи с мелиорацией. – Петрозаводск, 1977. – С. 105–123.
3. *Елина, Г.А.* Структурно-функциональная организация и динамика болотных экосистем Карелии [Текст] / Г.А. Елина, О.Л. Кузнецов, А.И. Максимов. – Л., 1984. – 128 с.
4. *Ефремов, С.П.* Пионерные древостои осушенных болот [Текст] / С.П. Ефремов. – Новосибирск. 1987. – 248 с.
5. *Жильцова, С.Г.* Болотные березняки северной части междуречья Оби и Томи [Текст] / С.Г. Жильцова // Ботанические исследования в азиатской России: материалы XI съезда Рус. ботан. об-ва (18-22 авг. 2003 г., Новосибирск – Барнаул). Т. 2. – Барнаул: Азбука, 2003. – С. 355–356.
6. *Казимиров, Н.И.* Производительность еловых насаждений по типам леса [Текст] / Н.И. Казимиров. – Петрозаводск, 1991. – 42 с.
7. *Медведева, В.М.* Влияние осушения на продуктивность березовых древостоев [Текст] / В.М. Медведева // Биологическая и хозяйственная продуктивность лесных фитоценозов Карелии. – Петрозаводск, 1997. – С. 71–75.
8. *Неволин, Н.Н.* О восстановлении ельников на осушаемых землях [Текст] / Н.Н. Неволин, Н.П. Шленкин // Гидролесомелиорация и эффективное использование земель лесного фонда: информ. материалы совещ. – Вологда, 1998. – С. 270–275.
9. *Нешатаев, В.Ю.* Изменение растительности травяно-сфагновых сосняков под влиянием осушения [The changes of vegetation in grass bog moss pine forests under the influence of drainage] // Ботан. журн. – 1986. – № 71 (4). – С. 429–440.
10. *Пятецкий, Г.Е.* Лесоосушение – путь умножения лесных богатств [Текст] / Г.Е. Пятецкий, В.М. Медведева. – Петрозаводск, 1967. – 116 с.
11. *Федорчук, В.Н.* Определение типов производных лесов [Текст]: методич. указания / В.Н. Федорчук, Г.Б. Мельницкая, Е.В. Захаров. – Л., 1981. – 46 с.
12. *Laine, J.* Long-term effects of water level drawdown on the vegetation of drained pine mires in southern Finland [Text] / J. Laine, H. Vasander, R. Laiho // Journ. of Applied Ecology. – 1995. – N 32. – P. 785–802.

Поступила 07.05.08

*V.A. Ananjev<sup>1</sup>, S.I. Grabovik<sup>2</sup>*<sup>1</sup>Institute of Forestry, Karelian RC RAS<sup>2</sup>Institute of Biology, Karelian RC RAS**Growth and Formation of Birch and Birch-spruce Stands after Melioration and Cutting**

The effect of ground cover on spruce reproduction in the drained birch forest is revealed. The increment and attrition dynamics is investigated in the drained birch-spruce stands after reformation cutting. The dynamics of spruce undergrowth transfer into the main part of stands over 20-years observation period is shown .

Keywords: hydro-forest-melioration, felling, growth and productivity of stands, ground cover.

**Динамика таксационных показателей в осушенных березово-еловых древостоях после рубок перестройки**

Год исследования	Состав	Число стволов (общее/ели), шт./га	Площадь (абсолютная, м <sup>2</sup> /относительная)	Запас (общий/ели), м <sup>3</sup> /га	Средние		Прирост по запасу, м <sup>3</sup> /га		Отпад (годовой/за n лет)		Подрос, достигший пороговых размеров, шт./га	Интенсивность, %	
					D, см	H, м	средний	текущий	шт./га	м <sup>3</sup> /га		отпада	пополнения
1983 (до рубки)	7Б <sub>90</sub> 1Е <sub>150</sub> 1Е <sub>80</sub> 1С <sub>150</sub>	929	13,74	97,8	9,7	8,1	–	–	–	–	–	–	–
		451	0,69	24,1									
1983 (после рубки)	10Е <sub>80</sub>	371	2,81	13,1	9,7	8,1	0,2	–	–	–	–	–	–
		371	0,14	13,1									
1988	10Е <sub>85</sub>	784	6,19	30,6	11,8	9,6	0,4	3,5	0,6	0,02	416	0,4	53,1
		784	0,32	30,6					3	0,10			
1993	10Е <sub>90</sub>	968	9,58	48,1	14,1	11,3	0,5	3,5	0,2	–	185	0,1	19,1
		968	0,46	48,1					1	0,03			
2003	10Е <sub>100</sub> + Б <sub>20</sub>	1602	14,15	115,4	17,8	14,1	1,1	6,4	2,0	0,04	522	0,7	35,3
		1480	0,69	112,4					10	0,43			

УДК 630\*812

*С.А. Корчагов, С.Е. Грибов*

Вологодская государственная молочнохозяйственная академия

Корчагов Сергей Анатольевич родился в 1975 г., окончил в 1997 г. Архангельский государственный технический университет, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой лесного хозяйства Вологодской государственной молочнохозяйственной академии. Имеет более 40 печатных трудов в области определения качественных показателей древесины при лесовыращивании.  
E-mail: serkor@vologda.ru



Грибов Сергей Евгеньевич родился в 1980 г., окончил в 2003 г. Вологодскую государственную молочнохозяйственную академию, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесного хозяйства ВГМХА. Имеет 7 печатных работ в области определения качественных показателей древесины при лесовыращивании.  
Тел.: 8-921-715-71-56



### **ВЛИЯНИЕ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ**

Рассмотрены показатели макростроения и физические свойства древесины сосны, формирующейся после лесного пожара. Выявлено, что формирование древесины сосны послепожарного происхождения не сопровождается ухудшением ее физико-механических свойств.

*Ключевые слова:* таксационные показатели, макростроение древесины, плотность, предел прочности.

Лесные пожары наносят значительный вред лесам: снижаются их защитные, водоохранные и другие полезные свойства, нарушается плановое ведение лесного хозяйства и использование лесных ресурсов.

Многочисленными работами отечественных и зарубежных исследователей доказано, что строение и свойства древесины тесным образом связаны с условиями роста, которые могут существенно изменяться под воздействием огня. Часть деревьев прекращает рост, у ряда сохранившихся экземпляров ствол приобретает другую форму, появляется сухобокость, иные пороки. Под влиянием пожара изменяются важнейшие показатели древесины: ширина годичного слоя, разделение его на раннюю и позднюю зоны, процент поздней древесины, плотность, размеры анатомических элементов [7].

Работа по изучению влияния лесных пожаров на строение древесины в условиях Европейского Севера была начата проф. И.С. Мелеховым еще в 1939 г., позднее результаты исследований были изложены в его трудах [8, 10]. И.С. Мелехова по праву можно считать основоположником идей пожарной травматологии северных лесов.

Цель нашей работы – изучить строение и физико-механические свойства древесины сосны обыкновенной (*Pinus silvestrus* L.), сформировавшейся после однократного воздействия низового лесного пожара. Исследования проведены на территории Кадуйского лесхоза Вологодской области (южная подзона тайги), для которой вопросы лесопожарной тематики весьма актуальны, что подтверждается статистическими данными.

По материалам Северного лесостроительного предприятия, за последние 40 лет (с 1966 г. по 2005 г.) в лесах Вологодской области (за исключением лесов сельхозформирований) произошло 6667 лесных пожаров (в среднем 167 в год), которыми охвачено 90,7 тыс. га лесной площади. За 10 лет (1996–2005 гг.) в лесах области возникло 2612 лесных пожаров на общей площади 43 964,5 га. По сравнению с прошлым ревизионным периодом среднегодовое число пожаров увеличилось на 293 %, среднегодовая площадь в 31,4, средняя площадь одного пожара в 10,7 раза. По среднестатистическим данным, в лесах области преобладают низовые пожары (56 %), в результате, наряду с живым напочвенным покровом, подлеском и подростом, повреждаются нижние части древесных стволов. На территории Кадуйского лесхоза числится 31 751 га хвойных лесов, в том числе 22 211 га сосновых. Основная их часть относится к 1- и 2-му классам пожарной опасности.

Исследования выполняли на участках естественных сосновых древостоев брусничного и лишайникового типов леса, пройденных низовым пожаром 16 лет назад. Контролем служили участки, примыкающие к этим горельникам. Необходимость учета типов леса при рассмотрении вопросов лесопожарной тематики обоснована И.С. Мелеховым [11].

Натурное обследование участков проводили на пробных площадях, заложенных с учетом основных положений ОСТ 56-69–83 [13]. Лесовосстановительные процессы изучали в соответствии с рекомендациями И.С. Мелехова [9], ботанический состав живого напочвенного покрова – по методике Л.Е. Астрологовой и Г.Б. Гортинского [1]. Морфологическое описание почв выполнено по ОСТ 56-81–84 [14] и рекомендациям Е.Н. Наквасиной и др. [12].

Модельные деревья с наличием пожарных травм отбирали из числа средних согласно ГОСТ 16483.6–80 [2], учитывая выводы И.С. Мелехова [8, 10]. Из стволов каждого модельного дерева отбирали кряжи на высоте 1,3 м для изготовления малых чистых образцов. На опытных участках образцы включали годичные слои послепожарного происхождения, примыкающие к пожарной ране; на контроле – древесину аналогичного возрастного периода, взятую на той же высоте и в том же направлении, что в опыте. Ширину годичных слоев и содержание поздней зоны определяли по ГОСТ 16483.18–85 [5], плотность древесины – по ГОСТ 16483.1–84 [3], предел прочности при сжатии вдоль волокон – по ГОСТ 16483.10–85 [4]. Экспериментальные данные обрабатывали методами вариационной статистики [6].

В брусничном типе леса площадь распространения пожара составляет 4,3 га. Интенсивность пожара высокая, высота нагара на стволах превышает 2 м. В подросте встречается сосна обыкновенная (*Pinus silvestris*). На



долю благонадежного подроста приходится лишь 40, сомнительного – 55, неблагонадежного – 5 %. Подлесок представлен можжевельником обыкновенным (*Juniperis communis* L.). В живом напочвенном покрове возобновилась брусника (*Vaccinium vitis-idaea* L.), к видам послепожарного происхождения относятся плаун сплюснутый (*Lycopodium complanatum* L.), толокнянка (*Arctostaphylos uva-ursi* (L.) Spreng.), кладония бесформенная (*Cladonia deformis* Hoffm.), кладония лесная (*C. sylvatica* (L.) Hoffm.), дикранум морщинистый (*Dicranum undulatum* Ehrh.), плеурозиум Шребера (*Pleurozium Schreberi* (Willd.) Mitt.). Почва сильноподзолистая супесчаная, развивающаяся на моренном связном песке.

На контрольном участке в этом типе леса под пологом древостоя развивается подрост сосны обыкновенной (*Pinus silvestris*) и ели европейской (*Picea abies* (L.) Karst.) густотой 2800 и 300 шт./га соответственно. Доля благонадежного подроста составила 75, сомнительного – 16, неблагонадежного – 9 %. В живом напочвенном покрове преобладает брусника (*Vaccinium vitis-idaea*), встречаются представители листостебельных мхов и кустистых лишайников (*Pleurozium Schreberi*, *Cladonia sylvatica*). Почва сильноподзолистая супесчаная, развивающаяся на моренном связном песке.

Площадь выгоревшего сосняка лишайникового составляет 2,5 га. Интенсивность низового пожара также высокая, высота нагара более 2 м. Огнем затронуто 98 % деревьев. Лесная подстилка во время пожара выгорела полностью. Под пологом древостоя развивается сосна обыкновенная (*Pinus silvestris*), густота подроста 1300 шт./га, практически весь он (1200 шт./га) является неблагонадежным. Из подлесочных пород единично встречается можжевельник обыкновенный (*Juniperis communis*). В живом напочвенном покрове после пожара поселились мхи (*Polytrichum juniperinum* Willd., *P. piliferum* Hedw.), лишайники (*Cladonia deformis*, *C. gracilis* (L.) Willd., *C. sylvatica*, *C. coccifera* (L.) Willd.), местами брусника (*Vaccinium vitis-idaea*), характерные представители напочвенного покрова на лесных участках, пройденных низовым пожаром. По наблюдениям И.С. Мелехова, в сухих борах-беломошниках в первые 5...10 лет после пожара поселяется брусника и ксерофитные виды *Polytrichum*, отдельные виды семейств плауновых и злаковых, в дальнейшем бокальчатые и кустистые лишайники. Почва на участке среднеподзолистая песчаная, развивающаяся на моренном связном песке.

Контрольный участок сосняка лишайникового занимает возвышенное местоположение. Захламленность участка сильная, по всей площади лежат сухостойные деревья. Под пологом древостоя развивается сосна обыкновенная (*Pinus silvestris*), густота подроста 1500 шт./га, в том числе благонадежного 80 %. В живом напочвенном покрове также преобладают лишайники (*Cladonia deformis*, *C. sylvatica*, *C. coccifera*), неравномерно по площади распространена брусника (*Vaccinium vitis-idaea*). Почва среднеподзолистая песчаная, развивающаяся на моренном связном песке.

Таблица 1

## Лесоводственно-таксационная характеристика участков

Участок	Тип леса	Со- став	А, лет	Средние		Класс бонитета	Р <sub>отн</sub>	М, м <sup>3</sup> /га
				Д, см	Н, м			
Опытный	Сосняк:							
	брусничный	10С	85	19,9	19,0	III	0,72	230
Контрольный	лишайниковый	10С	82	19,3	18,5	III	0,73	216
	Сосняк:							
	брусничный	10С	85	20,0	19,2	III	0,75	258
	лишайниковый	10С	82	19,8	18,7	III	0,82	245

Воздействие огня не отразилось существенно на показателях древесных стволов. В брусничном типе леса различия по средним диаметру и высоте сосны между опытными и контрольными участками составляют лишь 0,5 и 1 % соответственно (табл. 1). Некоторые различия наблюдаются в запасе стволовой древесины. Так, в настоящее время контрольный древостой имеет преимущество по запасу на 11 % по сравнению с опытным, что может быть вызвано большим отпадом древесины вследствие воздействия огня. Аналогичная закономерность прослеживается и в лишайниковом типе леса.

Для древесины сосны послепожарного происхождения в брусничном и лишайниковом типах леса выявлено увеличение средней ширины годичного слоя на 44 и 25 % соответственно по сравнению с контролем. Для каждого варианта показатели определены при испытаниях 15 малых чистых образцов, изготовленных из кряжей с трех средних модельных деревьев. Различия между вариантами статистически достоверны (табл. 2).

Таблица 2

## Макроструктура древесины сосны

Показатели	Участок	Среднее значение и основная ошибка	Достоверность различий вариан- тов $t_{\phi}$
Средняя ширина годичного слоя, мм	Опытный	$1,8 \pm 0,1$	$\frac{5,7}{2,9}$
	Контрольный	$1,6 \pm 0,1$	
Процент поздней древесины	Опытный	$1,0 \pm 0,1$	$\frac{12,0}{16,6}$
		$1,2 \pm 0,1$	
	Контрольный	$37,3 \pm 0,8$	
		$37,9 \pm 0,6$	
		$26,0 \pm 0,5$	
		$23,8 \pm 0,6$	

Примечание. В числителе показатели для брусничного, в знаменателе – для лишайникового типов леса. Табличный критерий Стьюдента  $t_{st} = 2,05$  при доверительном уровне 95 %.

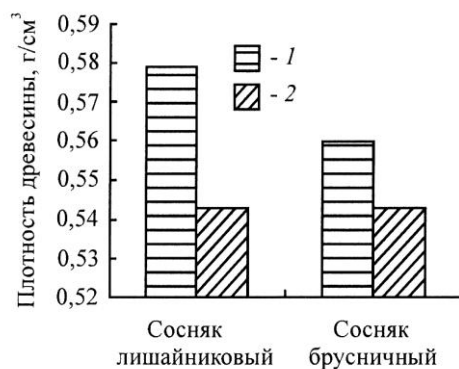


Рис. 1. Плотность древесины сосны: 1 – участок, пройденный пожаром; 2 – контроль

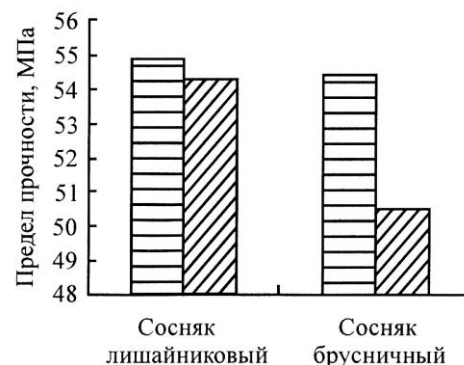


Рис. 2. Предел прочности древесины сосны при сжатии вдоль волокон. Обозначения см. на рис. 1

По данным Е.Г. Кривицких [7], при однократном повреждении дерева огнем в формировании древесины и последующем приросте выделяются три зоны, четко отличающиеся по ширине годичного слоя. Первая – очень мелкослойная (3...8 лет); вторая – с увеличивающимся приростом (9...16 лет); третья – со стабилизирующей шириной годичных колец (>16 лет). Такого рода хронологических исследований мы не проводили. Однако с учетом сказанного общее увеличение средней ширины годичного слоя в древесине послепожарного происхождения можно объяснить наличием 4...16 относительно широких слоев и в связи с давностью пожара (16 лет) предположить их дальнейшую стабилизацию.

Важным показателем качества древесины является процент поздних зон в годичных слоях. В нашем случае для древесины сосны послепожарного происхождения характерно значительное увеличение процента поздних зон (11 в сосняке брусничном и 14 в лишайниковом). Положительные изменения в соотношении ранних и поздних зон в годичных слоях послепожарного происхождения вызвали повышение плотности древесины при влажности 12 % (рис. 1). В лишайниковом типе леса оно составило 6,2, в брусничном 3,0 %, что следует считать статистически обоснованным ( $t_{\phi}$  равно 5,1 и 2,8 соответственно,  $t_{st} = 2,05$ ). По мнению И.С. Мелехова [8, 10] и Е.Г. Кривицких [7], одной из причин увеличения плотности древесины сосны в древостоях, пройденных лесными пожарами, является интенсивное смолообразование.

Испытания древесины сосны на прочность при сжатии вдоль волокон в условиях лишайникового типа леса не позволили выявить достоверных различий между опытным и контрольным вариантами ( $t_{\phi} = 0,5$  при  $t_{st} = 2,05$ ). Однако наметилась тенденция к увеличению показателя в древесине сосны послепожарного происхождения (рис. 2). Для брусничного типа леса эта тенденция сохраняется, различия по прочности наиболее существенны ( $t_{\phi} = 2,7$  при  $t_{st} = 2,05$ ).

Результаты наших исследований позволяют сделать заключение, что после низового пожара формирование древесины сосны не сопровождается ухудшением ее физико-механических свойств. Под воздействием огня образовалась более широкослойная древесина и увеличился процент поздних зон в годичных слоях, примыкающих к пожарной ране. Кроме того, пожар способствовал некоторому повышению плотности и прочности древесины. Материалы эксперимента полностью согласуются с выводами ранее проведенных исследований [7, 8, 10].

Полученные данные могут найти практическое применение при разработке нормативных материалов по оценке качественного состояния древесины сосны обыкновенной в древостоях, пройденных низовыми пожарами, и позволяют установить возможность ее промышленного использования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Астрологова, Л.Е.* Методические указания к проведению полевой практики по ботанике [Текст] / Л.Е. Астрологова, Г.Б. Гортинский. – Архангельск: АЛТИ, 1980. – 32 с.
2. ГОСТ 16483.6–80. Древесина. Метод отбора модельных деревьев и кряжей для определения физико-механических свойств древесины насаждений [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 4 с.
3. ГОСТ 16483.1–84. Древесина. Метод определения плотности [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 4 с.
4. ГОСТ 16483.10–85. Древесина. Методы определения предела прочности при сжатии вдоль волокон [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 6 с.
5. ГОСТ 16483.18–85. Древесина. Метод определения числа годичных слоев в 1 см и содержания поздней древесины в годичном слое [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 4 с.
6. *Гусев, И.И.* Вариационная статистика [Текст]: учеб. пособие / И.И. Гусев. – Архангельск: РИО АЛТИ, 1970. – 98 с.
7. *Кривицких, Е.Г.* Влияние лесных пожаров на прирост и строение древесины сосны обыкновенной [Текст]: автореф. дис. ... канд с.-х. наук: 06.03.03, 05.21.05 / Е.Г. Кривицких. – Красноярск, 1994. – 23 с.
8. *Мелехов, И.С.* Влияние пожаров на лес [Текст] / И.С. Мелехов. – М., Л.: Гос. лесотех. изд-во, 1948. – 126 с.
9. *Мелехов, И.С.* Некоторые итоги и задачи изучения концентрированных рубок в лесах Севера [Текст] / И.С. Мелехов // Возобновление леса при концентрированных рубках на Севере. – Архангельск: Арханг. кн. изд-во, 1954. – С. 5–17.
10. *Мелехов, И.С.* Об изменении анатомического строения древесины сосны под влиянием лесных пожаров [Текст] / И.С. Мелехов. – Архангельск, 1940. – 53 с. – (НИС АЛТИ; Вып. 16).
11. *Мелехов, И.С.* О закономерностях в периодичности горимости лесов [Текст] / И.С. Мелехов // Сб. работ по лесному хозяйству и лесохимии. – Архангельск: Сев.-Зап. кн. изд-во, 1971. – С. 4–26.
12. *Наквасина, Е.Н.* Полевой практикум по почвоведению [Текст] / Е.Н. Наквасина, В.С. Серый, Б.А. Семенов. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2007. – 127 с.
13. ОСТ 56-69–83. Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 60 с.

---

14. ГОСТ 56-81–84. Полевые исследования почвы. Порядок и способы проведения работ, основные требования к результатам [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 30 с.

Поступила 23.05.07

*S.A. Korchagov, S.E. Gribov*  
Vologda State Dairy Academy

#### **Effect of Forest Fires on Qualitative Characteristics of Scot Pine Timber**

The characteristics of macrostructure and physical properties of pine wood forming after the forest fire are considered. It is revealed that pine wood formation of after-fire origin is not accompanied by worsening its physical-mechanical properties.

Keywords: inventory characteristics, wood macrostructure, density, ultimate strength.

---

УДК 630\*24:630\*6

**Г.А. Чибисов, В.А. Гуцин**

Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства

Чибисов Генрих Андреевич родился в 1937 г., окончил в 1961 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник СевНИИЛХа, член-корреспондент Российской инженерной и Международной инженерной академий наук, академик РАЕН, заслуженный лесовод России. Имеет около 290 печатных работ в области рубок ухода, рубок главного пользования, экологии и биологии леса, продуктивности таежных экосистем.

Тел.: (8182) 21-61-74



Гуцин Валентин Александрович родился в 1939 г., окончил в 1964 г. Архангельский лесотехнический институт, ведущий научный сотрудник лаборатории таежного лесоводства СевНИИЛХа. Имеет более 90 печатных работ в области экономики лесопользования, лесного хозяйства и лесной промышленности.

Тел.: (8182) 61-80-12



### **ЛЕСОВОДСТВЕННО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРОМЕЖУТОЧНОГО ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ НА ЕВРОПЕЙСКОМ СЕВЕРЕ**

Определен естественный ежегодный отпад в насаждениях лесного фонда Архангельской области, Республике Коми; установлен потенциал промежуточного пользования; показана лесоводственная эффективность рубок ухода; проведен анализ ведения хозяйства по пяти вариантам лесовыращивания и лесопользования.

*Ключевые слова:* промежуточное лесопользование, рубки ухода, отпад, продуктивность, эффективность, прибыль, себестоимость, сортименты.

На Европейском Севере в связи с истощением лесосырьевой базы и формированием производных лесов проблема лесоводственно-экономической оценки рубок ухода не только как ухода за лесом, но и как источника получения древесины, приобретает большое экономическое и социальное значение.

Леса пройдены сплошными рубками более чем на 50 % площади. В результате их применения в течение 70 лет на месте коренных высокопроизводительных сосняков, ельников и лиственничников формируются менее продуктивные вторичные (антропогенные) леса. Смена пород и породного состава происходит на 45...80 % площади, качественно ухудшаются леса, снижается качество древесины.

Ускорить смену породного состава, оптимизировать условия восстановления хвойных в накопленном лесном фонде вторичных лесов в настоящее время можно только с помощью рубок ухода. Это необходимо для повышения комплексной продуктивности лесов и рационального лесопользования, целевого формирования лесов будущего, использования не востребо-

ванных трудовых ресурсов вследствие кризиса в сельском хозяйстве и спада лесозаготовок.

Принято считать, что лесное хозяйство тем интенсивнее, чем больше объем промежуточного пользования. При этом необходимо четко понимать, что получение древесины в процессе рубок ухода есть их следствие, а не цель, и что объем рубок ухода свидетельствует об уровне ведения хозяйства, интенсивности лесовыращивания. Оптимальным считается объем в пределах 20 %. В целом по России объем промежуточного пользования составляет 10 % от общего лесопользования, для сравнения в Швеции – 25, Финляндии – 40, Дании – 50 %.

Рубки промежуточного пользования, или рубки ухода, по Г.Ф. Морозову [2] «... имеют в виду только хозяйственное использование того естественного отпада, который происходит в лесу, или улучшение роста остающихся, содействие в росте той или иной породе и т.п. воспитательные цели». Г.Р. Эйтинген [7] отмечал, что «поскольку рубки ухода производятся периодически, через некоторые промежутки времени, то эти рубки в насаждениях, не достигших спелости, называются рубками промежуточного пользования». До последнего времени промежуточное пользование было принято в лесоводстве за отдельный вид лесопользования. В новом Лесном кодексе\* этот вид лесопользования не упоминается. Более того, по Кодексу проходные рубки – это заготовка древесины, при ее проведении допускается осуществление рубок в «средневозрастных, приспевающих ... лесных насаждениях» (статья 16).

На Европейском Севере площадь вторичных лесов, в которых можно и нужно проводить рубки ухода достигла таких размеров, при которых промежуточное пользование соизмеримо с главным. В освоенных лесосырьевых базах региона расчетная лесосека по рубкам ухода превышает лесосеку главного пользования в 1,5–2 раза. Не менее важно, что ресурсы промежуточного пользования имеют транспортные преимущества и находятся в зоне старой развитой инфраструктуры и хозяйственной деятельности. В ближайшей перспективе соотношение доступных ресурсов промежуточного и главного пользования будет составлять 1:1 [3].

В настоящее время возникает необходимость разработки более рациональной методики для определения расчетных и возможных объемов древесины, получаемой в процессе ухода за лесом до рубок главного пользования.

В теории рубок ухода имеются различные подходы определения объемов промежуточного пользования. Некоторые расчеты строятся на основе среднего прироста в определенный промежуток времени. Например, в Финляндии за величину среднего изреживания принята треть от объема запаса на корню.

---

\* По нашему мнению, наиболее конструктивной и удачной следует признать классификацию пользования лесом, предложенную О.А. Неволным (*Неволин, О.А.* Лесоустройство. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2005. – 588 с.).

Известно, что до возраста спелости в насаждениях отпадает более 95 % деревьев или 70 % от их общей производительности. Самое простое в обосновании рубок ухода – использование отпада. Но при попытке оценить отпад в лесных экосистемах на больших территориях возникает ряд методических сложностей. Одна из них связана с получением исходного материала. Для оценки отпада можно использовать материалы лесоустройства. В этом случае, располагая выявленной связью зависимости отпада от некоторых таксационных показателей, можно определить отпад по каждому выделу. Однако это весьма трудоемкая работа. Данные лесоустройства вносят некоторую ошибку в расчет текущего отпада по запасу, так как лесоустройство в разных лесхозах происходит не в один год.

Текущий отпад по запасу за год на определенной территории можно определить, располагая сведениями о площади, занимаемой определенной породой, возрасте, классе бонитета и ежегодном отпаде на 1 га. Для оценки отпада были использованы материалы государственного учета лесов, а также таблицы хода роста, содержащие информацию об отпаде по породам и классам бонитета. Однако таблицы хода роста разработаны для конкретных пород, а не для групп возраста. Использовались данные о распределении покрытой лесом площади по преобладающим породам и группам возраста. Имея площади по лесообразующим породам, можно определить процент участия в группе для каждой породы. На основе этого можно произвести разбивку по породам в таблице распределения насаждений по полнотам и классам бонитета, где насаждения подразделяются только на хвойные и мягколиственные.

С использованием изложенных подходов определен отпад по породам, возрастным группам и классам бонитета в лесах Архангельской области и Республики Коми (табл. 1).

Таблица 1

**Отпад по запасу (тыс. м<sup>3</sup>/год) в лесах Архангельской области (числитель)  
и Республики Коми (знаменатель)**

Порода	Возрастная группа	Класс бонитета				Итого
		II	III	IV	V	
Сосна	Молодняки	<u>8,4</u>	<u>48,9</u>	<u>169,4</u>	<u>62,1</u>	<u>288,8</u>
		43,5	92,4	239,4	119,8	495,1
	Средневозрастные	<u>140,2</u>	<u>288,0</u>	<u>279,4</u>	<u>145,8</u>	<u>853,4</u>
		124,8	338,2	412,7	210,0	1085,7
	Приспевающие	<u>17,1</u>	<u>62,6</u>	<u>83,9</u>	<u>47,4</u>	<u>211,0</u>
		24,5	63,5	105,5	59,7	253,2
<i>Итого</i>		<u>165,7</u>	<u>399,5</u>	<u>532,7</u>	<u>255,3</u>	<u>1353,2</u>
Ель	Молодняки	192,8	494,1	757,6	389,5	1834,0
		<u>28,3</u>	<u>236,0</u>	<u>283,7</u>	<u>41,6</u>	<u>589,6</u>
		59,3	181,4	163,1	32,6	436,4



Береза	Средневозрастные	<u>128,5</u>	<u>305,6</u>	<u>299,3</u>	<u>129,1</u>	<u>862,5</u>
		65,2	204,4	237,0	66,6	573,2
	Приспевающие	<u>14,2</u>	<u>72,5</u>	<u>109,0</u>	<u>49,9</u>	<u>245,6</u>
		21,2	90,8	137,4	67,4	316,8
	<i>Итого</i>	<u>171,0</u>	<u>614,1</u>	<u>692,0</u>	<u>220,6</u>	<u>1697,7</u>
		145,7	476,6	537,5	166,6	1326,4
	Молодняки	<u>44,7</u>	<u>207,2</u>	<u>324,4</u>	<u>61,3</u>	<u>637,6</u>
		13,1	158,1	211,2	58,5	440,9
	Средневозрастные	<u>247,2</u>	<u>444,0</u>	<u>314,8</u>	<u>76,2</u>	<u>1082,2</u>
		228,0	241,7	344,5	211,9	1026,1
Осина	Приспевающие	<u>80,2</u>	<u>72,0</u>	<u>31,8</u>	<u>6,2</u>	<u>190,2</u>
		47,8	39,7	42,9	18,8	149,2
	<i>Итого</i>	<u>372,1</u>	<u>723,2</u>	<u>671,0</u>	<u>143,7</u>	<u>1910,0</u>
		288,9	439,5	598,6	289,2	1616,2
	Молодняки	<u>5,6</u>	<u>26,2</u>	<u>52,5</u>	<u>14,2</u>	<u>98,5</u>
		23,3	61,1	104,5	41,4	230,3
	Средневозрастные	<u>14,4</u>	<u>30,6</u>	<u>26,5</u>	<u>8,8</u>	<u>80,3</u>
		11,2	13,6	24,6	18,6	68,0
	Приспевающие	<u>13,6</u>	<u>14,0</u>	<u>7,2</u>	<u>1,8</u>	<u>36,6</u>
		6,5	6,2	7,8	4,4	24,9
<i>Итого</i>	<u>33,6</u>	<u>70,8</u>	<u>86,2</u>	<u>24,8</u>	<u>215,4</u>	
	41,0	80,9	136,9	64,4	323,2	
	Всего	<u>742,4</u>	<u>1807,6</u>	<u>1981,9</u>	<u>644,4</u>	<u>5176,3</u>
		668,4	1491,1	2030,6	909,7	5099,8

Таким образом, если исходить только из величины ежегодного отпада, подлежащего выборке при рубках ухода, то в Архангельской области его запас (С, Е, Б, Ос) в молодняках, средневозрастных, приспевающих II–IV классов бонитета равен 4,5 млн м<sup>3</sup> в год, т. е. 70 % от общего отпада (с учетом спелых и перестойных лесов), в Республике Коми – 4,2 млн (60 %).

В молодняках по всем породам отпад составляет более 1,0, в средневозрастных – более 1,5, в приспевающих – более 0,7 млн м<sup>3</sup>. По-видимому, наибольший отпад в средневозрастных насаждениях обусловлен не только интенсивным ростом, но и интенсивной дифференциацией из-за отсутствия своевременных уходов в молодняках. Наибольшие ресурсы для рубок ухода имеются в средневозрастных насаждениях. С учетом региональных нормативов интенсивности рубок ухода объем древесины, подлежащей выборке, уже в настоящее время может быть около 7 млн м<sup>3</sup> или 37 % от расчетной лесосеки по главному пользованию (19,6 млн м<sup>3</sup>). Фактически объем древесины, получаемой в результате рубок ухода, составляет около 5 % от лесосеки главного пользования или только 16 % от отпада.

На практике наибольшие по площади рубки ухода проводятся в молодняках (37 %), на долю проходных рубок приходится более 27 %, прореживания – 6 %, т. е. имеется существенная диспропорция.

Расчет промежуточного лесопользования — не простая задача, особенно с учетом объемов разного уровня. Методы расчета по площади, запасу строятся на основе таксационных показателей насаждений и действующих официальных нормативов (Правила ухода за лесом). Имеющиеся урав-

нения расчета основываются на показателях, которых нет в таксационных описаниях (например, сумма площадей сечений), или на нормативах рубок ухода (интенсивность, периодичность). Согласно Правилам, интенсивность по запасу устанавливается по сомкнутости крон в любом возрасте с допустимым снижением ее на  $0,1 \dots 0,2$ , т. е. в пределах точности ее определения. Однако этот чисто визуальный показатель, не имеющий никакой связи с запасом, после рубок ухода может и не изменяться. Лесоустройством ежегодный фонд рубок ухода по площади и запасу устанавливается в камеральных условиях по полноте, которая не отражает густоту, породный состав, взаимоотношения древесных пород и может быть одной и той же при разной густоте.

Реально возможные объемы рубок ухода будут отличаться от расчетных. Эта разница из года в год будет увеличиваться, искажая истинную расчетную лесосеку. Возможные объемы зависят от наличия лесных дорог и других средств производства, переработки и сбыта мелкотоварной древесины. Процент возможных к освоению площадей рубками ухода на ревизионный период определяется по формуле [1]

$$P = 130x,$$

где  $x$  – протяженность дорог на 100 га площади, км.

Если исходить только из этого, то, например, в Архангельской области при  $x = 0,03 \dots 0,06$  км возможная площадь рубок  $P = 4 \dots 8$  %. Практика показывает, что для полного охвата насаждений необходимо иметь 1,0...1,5 км дорог на 100 га площади.

По данным лесоустройства потенциал промежуточного пользования в лесах России по лесоводственным требованиям составляет более 140 млн м<sup>3</sup>, а расчетный объем по экономическим и транспортным возможностям определен в 28 млн м<sup>3</sup>. В 2005 г. средний объем промежуточного пользования составил около 19,0 млн м<sup>3</sup>, т. е. около 68 % от расчетно-возможного. Следует отметить, что в расчетных лесосеках по экономическим условиям учитывается рентабельность рубок ухода на данный конкретный прием, а не полная лесоводственно-экономическая эффективность рубок ухода (качество лесов и конечная стоимость древесины).

Для расчета промежуточного пользования на основе многочисленных экспериментальных данных, натурной перечислительной таксации нами установлены зависимости выбираемого запаса от таксационных показателей для основных категорий насаждений (сосново-лиственные, березово-еловые, осиново-еловые с елью последующего происхождения, модальные елово-березовые с елью предварительного происхождения) по подзонам тайги. Например, для березово-еловых насаждений получено следующее уравнение:

$$M = -387,2 - 0,439A + 2711gA + 4,7B - 2,92B^2 + 1,004N + 54,6611gN + 0,512V - 13,5411gV,$$

где  $M$  – выбираемый запас, м<sup>3</sup>/га;

$A$  – возраст, лет;

$B$  – класс бонитета;

$N$  – число стволов, тыс. шт./га;

$V$  – средний объем ствола,  $\text{дм}^3$ .

Для практического использования все нормативные показатели по категориям насаждения разного возраста сведены в таблицы.

Ключевым моментом в определении размера промежуточного пользования, качества формируемых лесов (порода, товарно-сортиментная структура), затрат на лесовыращивание является правильное, прежде всего, лесоводственно обоснованное планирование рубок ухода. Оно включает несколько этапов: установление необходимости проведения рубок ухода, их параметров (прежде всего интенсивности), товарной структуры вырубаемой древесины, цели лесовыращивания, рентабельности рубок по каждому таксационному выделу; обобщение этих сведений на уровне квартала, лесничества, лесхоза, арендного участка.

На завершающем этапе должны быть проанализированы и оценены изменения качества лесов и их стоимости, последствия и суммарный лесоводственно-экономический эффект от рубок ухода при проведении рубок главного пользования на каждом конкретном выделе. Все это должно осуществляться с учетом долговременных требований устойчивости ведения лесного хозяйства и краткосрочных требований экономической конъюнктуры по вариантам и методам его ведения.

Существующая система планирования рубок иногда страдает рядом серьезных недостатков, определяемых как субъективными, так и объективными причинами:

недостаточна информационно-нормативная база, в материалах лесоводства отсутствуют такие важные таксационные характеристики, как число стволов на 1 га по породам, суммы площадей сечений;

интенсивность рубок, как основной параметр для расчета пользования, устанавливается, исходя из порогового значения по действующим Правилам, один раз на весь ревизионный период (10 и более лет), т. е. не учитываются динамика состояния насаждения, роста, прироста, отпада;

при расчете лесопользования все разнообразие условий лесовыращивания сводится к 3–5 хозяйственным секциям, хотя наиболее постоянная хозяйственная единица в лесном фонде – лесотаксационный выдел. Частично поэтому после одноразового приема рубок ухода или перевода в хозяйственно ценную категорию насаждения выпадают из поля хозяйственной деятельности.

В целях устранения некоторых из этих причин на одном типичном квартале (Коношский лесхоз Архангельской области), включающем 28 таксационных выделов (площадь около 390 га), были проведены ленточные перечеты (22 км) и закладка пробных площадей с рубками ухода. В каждом выделе определены детальная лесоводственно-таксационная характеристика, система целевого лесовыращивания, параметры рубок ухода, технико-экономические показатели; рассчитаны нормативные показатели технологических затрат, средневзвешенной оптовой цены вырубаемой древесины с учетом выхода деловой по крупности, сортиментам, сортам.

В качестве основных результатов можно отметить следующие.

Лесоустройство занижает таксационные данные. Нет показателей по густоте, породному составу (число стволов на 1 га), сумме площадей сечения, что не позволяет правильно проектировать рубки ухода с определением целей лесовыращивания. Как показали натурные исследования, интенсивность рубок в зависимости от породного состава может колебаться от 9 до 73 % (по отдельным породам – 100 %), по запасу – от 9 до 88 %. Рекомендуемая лесоустройством интенсивность, как правило, составляющая 15...30 %, занижена, что существенно сказывается не только на расчете лесопользования, но и на качестве выращиваемого древостоя, и в целом на эффективности уходов.

В результате проектируемых мероприятий может быть достигнуто переформирование насаждений в хвойные (от 25 до 76 % площади квартала), формирование древостоев, оптимальных по густоте, составу (продуктивности), в соответствии с целями лесовыращивания. Из насаждений в возрасте 15...50 лет может быть получено более 20 тыс. м<sup>3</sup>, в том числе более 16 тыс. м<sup>3</sup> ликвидной. В итоге реализации всего проекта будет получено лесопроизводства на сумму, почти в 5 раз превышающую операционные затраты.

Эффективность рубок ухода определяется в основном экологической, биологической, количественной и качественной продуктивностью. Их можно рассматривать как во взаимосвязи, в комплексе, так и отдельно. От этого в значительной мере будет зависеть экономический эффект. Значение и преобладание того или иного вида продуктивности зависит от целей лесовыращивания, региональных и зонально-типологических условий.

В теории и практике эффективность рубок ухода чаще всего оценивают по количественной продуктивности, приросту остающейся части насаждений. При этом на возможность усиления роста насаждений в результате рубок ухода имеются две противоположные точки зрения. Все зависит от исходной лесоводственной характеристики насаждений (возраст, состав, густота, лесорастительные условия и т. д.), а также от организационно-технических элементов проводимых рубок ухода. Так, наши многолетние исследования показывают, что запас формируемых рубками ухода древостоев средней подзоны существенно повышается.

Запас ельников с циклом рубок ухода в лиственно-еловых насаждениях к возрасту 100 лет в разных типах леса в 1,5–2 раза превышает запас насаждений естественного развития, он же в сосняках на 10...30 % выше контрольных. При этом нужно учитывать и вырубаемую массу при всех приемах.

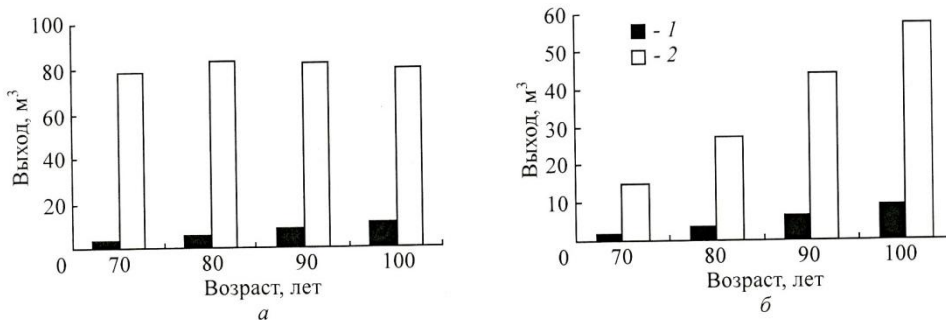
Качественная продуктивность оценивается изменением не только породного состава, но и макро- и микроскопических анатомических элементов древесины, ее плотности и физико-механических свойств [4]. Обобщенным и наиболее показательным остается товарная и сортиментная структура древостоев. Выход древесины по категориям крупности зависит от режимов рубок ухода [5]. По нашим данным, в насаждениях, пройденных рубками ухода, выход основных сортиментов (пиловочник, балансы) значительно выше, чем в древостоях, не пройденных рубками (см. рисунок). После ком-

плекса рубок ухода в смешанных сосняках выход соснового пиловочника к возрасту 70...100 лет повышается на 30...60 % (тип леса черничный свежий, средняя подзона).

Следует считать, что первоочередная лесоводственная эффективность рубок ухода проявляется в предотвращении смены пород, использовании ее в народнохозяйственных целях, а также в ускорении восстановления главных пород и повышении качества лесов.

Для определения экономической эффективности лесопользования рубками ухода в условиях рыночных отношений может быть принят показатель прибыли от реализации лесопродукции (т. е. доход, полученный с единицы площади за год). Обязательным условием является дифференцированный учет всех текущих и капитальных затрат на проведение всего комплекса рубок ухода с рубками главного пользования, а также объем ликвидной древесины с единицы площади за год оборота рубки.

Прибыль определена как  $\Pi = Ц - С$ , где  $Ц$  и  $С$  – цена и себестоимость лесопродукции от рубок ухода и главного пользования (все показатели – в рублях на 1 га в год).



Выход сортиментов в ельнике черничном свежем:  $a$  – балансы;  $б$  – пиловочник; 1 – контроль; 2 – рубки ухода

эффективность использования текущих затрат, одновременных капвложений и размер прибыли на единицу заготовленной древесины, приняты:

$$\frac{\Pi}{C}; \frac{\Pi}{K}; \frac{\Pi}{P},$$

где  $K$  – удельные капиталовложения, руб;

$P$  – среднегодовой размер пользования, м³ на 1 га в год.

Экономическая оценка лесопользования определена по пяти вариантам:

I – проведение всего комплекса рубок ухода и рубок главного пользования (высокая интенсивность лесопользования);

II – проведение двух видов рубок ухода (прореживание, проходные рубки) и рубок главного пользования (средняя интенсивность);

III – проведение только проходных рубок с главными рубками (слабая интенсивность);

IV – лесопользование без рубок ухода (экстенсивное лесопользование);  
V – лесопользование без рубок главного пользования (интенсивное целевое лесовыращивание).

Оценка эффективности лесопользования рубками ухода приведена в табл. 2.

В целом можно отметить высокую эффективность вариантов I и II по сравнению с IV. По основному критерию *П* варианты I и II эффективнее IV соответственно 1,5 и 2,0 раза. Это подтверждается и дополнительными оценочными показателями. Цена и среднегодовой объем пользования в варианте IV на 30...35 % ниже, чем в I. При условии ухода за березой с целью получения фанерного кряжа эффективность варианта IV может значительно повыситься. Рубки ухода по варианту V целесообразны, однако их эффективность невысока. По основному показателю она в 4,9 раза ниже, чем в варианте III.

При организации лесопользования по варианту I на каждый 1 млн м<sup>3</sup> заготовленной и реализованной древесины можно будет получить на 40 млн валовой прибыли больше, чем в IV варианте.

Составной частью расчета лесоводственно-экономической эффективности рубок являются расчетно-технологические карты. Это комплекс дифференцированных и динамичных во времени научно обоснованных нормативных показателей (трудозатраты, затраты машинного времени, себестоимость, капитальные вложения), применением конкретных видов техники и технологии, с учетом инфляции, лесоводственных требований, основных нормообразующих и природно-экономических факторов.

Следует признать, что в идеальном варианте полная лесоводственно-экономическая оценка должна проводиться с учетом всех видов продуктивности в их стоимостном выражении.

### *Выводы*

Лесной фонд вторичных лесов на Европейском Севере обладает большими ресурсами для организации рационального промежуточного лесопользования, объемы которого могут составлять около 50 %, в некоторых районах – 90 %.

Рубки ухода имеют высокую лесоводственно-экономическую эффективность, обеспечивают повышение промышленной ценности лесов, а общий экономический результат в хозяйствах с рубками ухода значительно превышает этот показатель в хозяйствах без рубок ухода.

Необходимо менять всю систему планирования и проведения рубок ухода, начиная с совершенствования нормативно-справочной информации. Для планирования нужна более детальная информационная база характеристики лесов, постоянная актуализация таксационных данных, прогноз сце-

нариев развития как роста насаждений, так и рынка сбыта и потребления древесины.

На объекты рубок ухода на повыдельной основе необходимо разрабатывать перспективные долговременные проекты с определением целей лесовыращивания, текущих и капитальных вложений.

Своевременным следует считать организацию специализированных целевых хозяйств с оборотами рубки, ориентированных на конкретные сортименты. Основная задача целевых хозяйств – получить нужные сортименты в возможно короткий срок с учетом лесорастительных и экономических условий.

Требуется оценка качества лесов, формируемых рубками ухода, с разными социальными и экологическими функциями. При этом ключевым результатом является разработка и анализ экономически обоснованных вариантов ведения хозяйства на весь цикл лесовыращивания и лесопользования. При долгосрочной аренде лесов этот аспект имеет многоплановое значение.

Назрела необходимость пересмотра распределения лесного фонда по группам (категориям – по Лесному кодексу) лесов с увеличением второй группы (ограниченно эксплуатационные и защитные), установлением зон интенсивного преобладающего проведения рубок ухода и учетом насыщенности дорожной сетью. При этом основное внимание должно быть отведено их лесоводственно-экономической оценке (имеется в виду, что промежуточное пользование есть следствие рубок ухода). Имеющееся предложение о переводе рубок ухода в категорию заготовок древесины при рыночных арендных отношениях грозит негативными последствиями.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Волков, В.Д.* Оптимизация планирования лесного хозяйства [Текст] / В.Д. Волков, Д.Н. Дудин. – М.: Лесн. пром-сть, 1975. – 65 с.
2. *Морозов, Г.Ф.* Избранные труды [Текст] / Г.Ф. Морозов. – Т. I. – М.: Лесн. пром-сть, 1970. – 558 с.
3. *Трубин, Д.В.* Путеводитель в новый лес [Текст] / Д.В. Трубин // Лесн. журн. – 2005. – №1-2. – С. 204–206.— (Изв. высш. учеб. заведений).
4. *Чибисов, Г.А.* Качество древесины сосны и ели, метод его определения [Текст] / Г.А. Чибисов, С.А. Москалева, Л.Е. Крыжановская // Вопросы таежного лесоводства на Европейском Севере. – Архангельск, 2005. – С. 89–99.
5. *Чибисов, Г.А.* Рубки ухода за лесом на Европейском Севере [Текст] / Г.А. Чибисов, Н.И. Вялых, Н.С. Минин. – Архангельск, 2004. – 127 с.
6. *Чибисов, Г.А.* Рубки ухода и фитоклимат [Текст] / Г.А. Чибисов, А.И. Нефедова. – Архангельск, 2007. – 265 с.
7. *Эйтинген, Г.Р.* Рубки ухода за лесом в новом освещении [Текст] / Г.Р. Эйтинген. – М.: Гослестехиздат, 1934. – 210 с.

Поступила 08.10.07



*G.A. Chibisov, V.A. Gushchin*

Northern Scientific-research Institute of Forestry

**Silvicultural-economic Assessment of Intermediate Forest Management in the European North**

The natural annual attrition is determined for the forest stands of the Arkhangelsk region, Republic of Komi; the potential of intermediate forest management is set; silvicultural efficiency of thinning is shown. Forest management is analyzed according to five scenarios of forest growing and forest management.

Keywords: intermediate forest management, thinning, attrition, productivity, efficiency, profit, cost, assortments.

Таблица 2

**Лесоводственно-экономическая эффективность лесопользования  
рубками ухода и главного пользования по вариантам**

Показатель	Условное обозначение	I	II	III	IV	V
Оборот рубки, лет	О	90	100	100	90	70
Среднегодовой объем пользования, м <sup>3</sup> /га	Р	4,48	3,74	3,31	3,39	1,79
Стоимость заготавливаемой древесины без НДС (франко-пункт отправления), р./га в год	Ц	2374	1982	1824	1698	665
Себестоимость заготовки древесины, р./га в год	С	993	873	753	789	381
Капиталовложения на заготовку древесины, р./га в год	К	2154	1936	1619	1746	930
Прибыль от реализации древесины, р./га в год	П=Ц-С	1381	1109	1071	909	284
Рентабельность на 1 р. себестоимости, р.	П/С	1,39	1,27	1,42	1,15	0,74
Рентабельность на 1 р. капиталовложений, р.	П/К	0,64	0,57	0,66	0,52	0,30
Прибыль на 1 м <sup>3</sup> заготовленной древесины, р.	П/Р	308	296	324	268	159
Срок окупаемости капиталовложений, лет	К/П	1,6	1,7	1,5	1,9	3,3
Предполагаемая очередность по эффективности лесопользования	–	1	2	3	4	5

Примечание. 1. Себестоимость определена без учета оплаты за лесфонд и накладных расходов, стоимость получаемой продукции от рубок ухода и главного пользования – без НДС. 2. В варианте V затраты и продукция даны только для рубок ухода.



УДК 630\*37

**Е.И. Бавбель, П.А. Лыщик**

Белорусский государственный технологический университет

Бавбель Евгения Ивановна родилась в 1983 г., окончила в 2006 г. Белорусский государственный университет, аспирант кафедры транспорта леса Белорусского государственного технологического университета. Область научных исследований – проектирование лесных дорог, прогнозирование размещения лесотранспортных путей в лесах второй группы.

E-mail: [jane18@mail.ru](mailto:jane18@mail.ru)

Лыщик Петр Алексеевич родился в 1944 г., окончил в 1968 г. Белорусский технологический институт, кандидат технических наук, доцент, проректор по научной работе Белорусского государственного технологического университета, член-корреспондент Международной академии технического образования, член правления общества «Беларусь – Финляндия». Имеет более 120 печатных трудов по разработке конструкций автомобильных лесовозных дорог, регулированию водно-теплого режима земляного полотна и дорожной одежды, укреплению дорожных грунтов, использованию геоинформационных систем для проектирования лесотранспортных схем.

Тел.: (10-375-17) 227-89-44



## ОБОСНОВАНИЕ РАЗМЕЩЕНИЯ ЛЕСОТРАНСПОРТНЫХ СЕТЕЙ

Разработана модель размещения лесотранспортных путей с использованием теории графов, позволяющая минимизировать суммарные приведенные затраты.

*Ключевые слова:* абстрактная лесотранспортная сеть, лесотранспортные пути, теория графов.

При выборе варианта лесотранспортной сети (ЛТС) критерием оптимизации служит минимум приведенных затрат на строительство, содержание и эксплуатацию лесных дорог. Проектирование схемы транспортного освоения эксплуатационных лесов заключается в определении оптимальных конфигурации и структуры лесотранспортных путей. Под конфигурацией ЛТС понимают организованное пространственное расположение транспортных путей и узлов, инженерных сооружений; под структурой – категории транспортных путей и типы транспортных узлов. Для ЛТС характерна большая размерность. Это выражается, во-первых, в том, что ЛТС размещается на площадях до  $10^4$  км<sup>2</sup> и более. Во-вторых, размерность ЛТС как большой системы определяется в зависимости от числа пунктов формирования и приема грузопотоков; развилок путей; транспортных путей всех категорий; сооружений, обеспечивающих прокладку путей через преграды; периодов строительства ЛТС. Структура является наиболее консервативным свойством ЛТС, оставаясь неизменной в течение десятилетий, в то время как конфигурация и размерность периодически меняются.

1. Исследование абстрактных лесотранспортных сетей. Изучение структуры ЛТС неразрывно связано с исследованием их сложности. Среди основных показателей, влияющих на структуру и сложность транспортных сетей, обычно выделяют: число и разнообразие компонентов, связей, число уровней иерархии системы.

Реальные ЛТС удобно исследовать в виде абстрактных моделей, построенных с помощью теории графов [1]. Для оценки ЛТС можно использовать те же количественные показатели, что и для анализа транспортных сетей другого назначения: число вершин сети  $N_x$ , число ребер  $N_l$ , длину ребра  $l_v$ . Эти параметры в различных сочетаниях объединяются в группы, определяющие: степень центральности; связность; меру формы; компактность и экономическое состояние.

Число вершин ЛТС находят по формуле

$$N_x = N_l + N_s + N_v,$$

где  $N_l$ ,  $N_s$ ,  $N_v$  – соответственно число центров сосредоточения запасов древесины, развилок путей и пунктов примыкания.

Степень центральности определяется максимальным числом Кеннига. Для нашего случая это число ребер от корневой вершины (пункта примыкания) до наиболее удаленной вершины фрагмента сети, примыкающего к данному пункту.

Показателем связности сети является соотношение

$$\beta_c = N_l / N_x.$$

Мера формы сети определяется параметром

$$\gamma_l = \Sigma L / D_l,$$

где  $\Sigma L$  – общая протяженность сети, представляющая собой сумму длин ребер;

$D_l$  – длина диаметра сети, равная расстоянию между максимально удаленными вершинами сети.

Мера компактности и экономического состояния представляет собой среднее расстояние до вершин:

$$l_{xcp} = \frac{\sum_{i=1}^{N_l} l_{vi}}{N_l},$$

где  $l_{vi}$  – расстояние от пункта примыкания  $V$  до  $i$ -й вершины.

Корневые вершины абстрактных ЛТС условно назовем пунктами примыкания. Соединить грузообразующие вершины между собой транспортными связями можно несколькими неравноценными способами, важно найти оптимальный. Например, для сети с пятью вершинами и одним пунктом примыкания возможны следующие построения:

а) эстафетное соединение, формирующее кратчайшую по длине сеть при обходе всех вершин, начиная с корневой (рис. 1, а).

б) иерархическое соединение пункта примыкания со всеми остальными (рис. 1, б).

в) соединение вершин в виде связывающего дерева, имеющего минимальную суммарную длину путей (рис. 1, в).

г) введение дополнительных вершин – развилок путей (рис. 1, г).

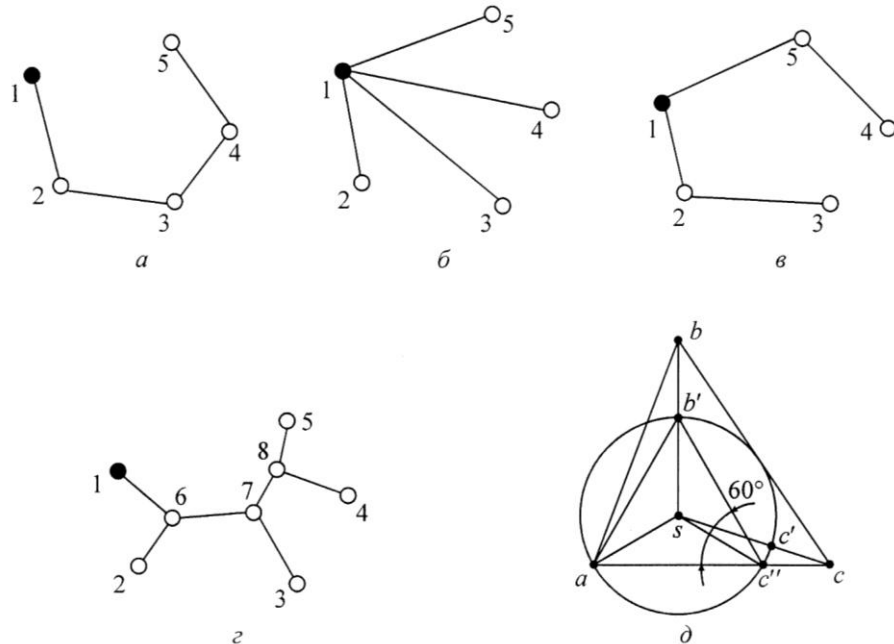


Рис.1. Варианты построения абстрактных сетей

При решении задач синтеза ЛТС практический интерес представляют построения, приведенные на рис. 1, *в* и *г*. В первом случае строится кратчайшее связывающее дерево (КСС) для  $N_I$  грузообразующих вершин в виде графа – «дерева Прима» [2], имеющего минимальную длину путей.

Вариант, изображенный на рис. 1, *г*, получен добавлением к КСС трех дополнительных вершин в целях уменьшения его длины. В этом случае задача сводится к поиску «минимального дерева Штейнера» (МДШ), связывающего исходные и дополнительные вершины (называемые точками Штейнера) и имеющего минимальную суммарную длину путей среди всех возможных МДШ с  $N_s = N_I - 2$  допустимым числом точек Штейнера [2]. При этом усложняется только целевой функционал задачи в следующем порядке: минимальная длина – минимальные транспортные расходы – минимальные приведенные затраты. Очевидно, что построение оптимальной транспортной сети для нескольких исходных вершин связано с решением задачи поиска МДШ. Для проверки правильности такого вывода выполним оценку длины МДШ для трех грузообразующих вершин.

Пусть на евклидовой плоскости построена транспортная сеть с  $N_I = 3$  исходными и  $N_s = N_I - 2$  дополнительными точками (рис. 1, *д*).

Доказательство. Пусть точка  $a$  – ближайшая к дополнительной точке  $s$  и справедливы выражения:

длина КСС

$$L_p = ac + bc;$$

длина МДШ

$$L_s = as + bs + cs.$$

Если точка  $s$  не существует, т. е.  $as \rightarrow 0$ , то  $L_s \rightarrow L_p$ . Это означает, что длина КСС является верхней границей для МДШ ( $L_s = L_p$ ).

На отрезке  $bs$  находим такую точку  $b'$ , чтобы  $b's = as$  и  $c's = as$ . Тогда

$$L_s = as + b's + c's + b'b + c'c = \frac{\sqrt{3}}{2} (ab' + ac') + b'b + c'c.$$

Из рис. 1,  $\delta$  видно, что

$$ab' = ac'' \text{ и } cc' = cc'', ab = ab' + b'b \text{ и } ac = ab' + c'c,$$

тогда 
$$L_s = \frac{\sqrt{3}}{2} (ab + ac) + (1 - \frac{\sqrt{3}}{2})(b'b + c'c). \quad (1)$$

Если рассмотреть случай, когда совпадают точки  $b$  и  $b'$ ,  $c$  и  $c'$ , то можно преобразовать формулу (1) для определения нижней границы МДШ следующим образом:

$$L_s = 0,86603 (ab + ac) = 0,36503 L_p. \quad (2)$$

Э.П. Гильберт и Г.О. Поллак [3], исследуя проблему Штейнера, также пришли к выводу, что за начало построения МШД можно принять КСС при условии обеспечения невозрастающей последовательности приращений длины МДШ, и определили соотношение между максимумом  $L_p$  и значением  $L_s$ :

$$L_s = L_p [(1 - \frac{1}{2} (1 - \cos 30^\circ))] = 0,933 L_p. \quad (3)$$

Изложенное позволяет сделать вывод, что поиск лучшего варианта ЛТС необходимо свести к поиску оптимальной модели – «минимального дерева Штейнера».

2. Применение методики построения опорной сети лесных дорог в геоинформационных технологиях. В качестве компонента системы оптимизации ЛТС может быть использовано программное обеспечение, разработанное в Белорусском государственном технологическом университете, а также разработки РУП «Белгослес» и Института леса НАН Беларуси (Геоинформационная система «Лесные ресурсы» FORMAP for Windows версия 2.0: Руководство пользователя / НПООО «БелИнвестЛес». – Минск, 1999. – 96 с.).

На рис. 2 представлена структурная схема по проектированию ЛТС в эксплуатационных лесах.

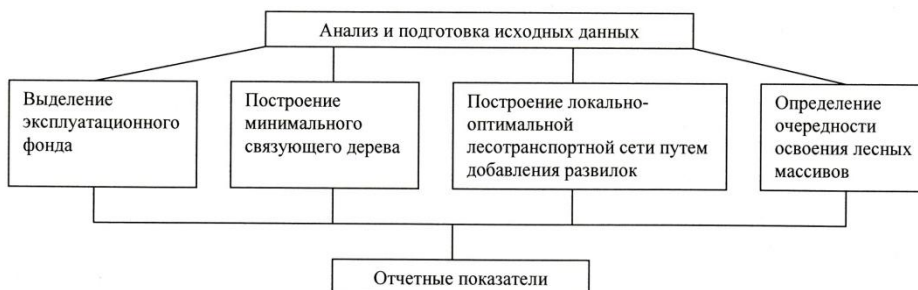


Рис. 2. Структурная схема программы

Особенностью проектирования сети лесных дорог на основе геоинформационных технологий является формирование массивов исходных данных. Геоинформационные системы позволяют не только производить распределение насаждений по хозяйственным частям, сформированным в пределах групп леса и категорий защитности, но также учитывать индивидуальные особенности выделов (почвенно-грунтовые, гидрологические, рельефные и т. д.).

3. Экспериментальное испытание предложенной методики выполнено на предприятии ГЛХУ «Червенский лесхоз» Рованичского лесничества Республики Беларусь, занимающемся заготовкой леса и первичной переработкой древесины. Заготовка и вывозка леса осуществляются по хлыстовой технологии, на вывозке используются автопоезда МАЗ-509, МАЗ-5434 + прицепы-ропуски.

3.1. *Выделение эксплуатационного фонда* производится на основе подсистем анализа, оценки лесных территорий и расчета размера главного пользования лесом (Расчет размера главного пользования: технорабочий проект [Текст]: / ГЛПО «Белгослес». – Минск, 1997. – 15 с.). При этом выделяются лесоэксплуатационные районы, соответствующие определенным типам местности [5, 6]; точечные и линейные препятствия, контурные «недоступные» области, затрудняющие или исключают размещение на них лесотранспортных путей [7] (например, особо защитные участки леса, глубокие болота и т. д.).

3.2. *Построение минимального связующего дерева – дерева Прима.*

3.3. *Построение локально-оптимальной ЛТС путем добавления развилок – минимального дерева Штейнера.*

3.4. *Определение очередности освоения лесных массивов.* Очередность рубки насаждений эксплуатационного фонда в настоящее время устанавливаются согласно «Правилам отпуска леса на корню в лесах Республики Беларусь» (Постановление СМ Республики Беларусь от 29.03.2002 № 383. – Минск, 2002. – 25 с.). Методика определения очередности ограничивается регламентацией критериев отбора и порядка назначения в рубку древостоев. В этой связи необходимо провести расчеты, оптимизирующие проектирование опорной ЛТС в эксплуатационных лесах.

Очередность строительства ЛТС определяют двумя методами: наступлением спелости лесонасаждений и минимумом затрат. Затем выбирают наилучший.

3.5. *Определение необходимого количества искусственных сооружений.* Обоснование и выбор местоположения искусственного сооружения рассматриваются в каждой точке пересечения проектируемой трассы лесной дороги с крупными водотоками (реки, ручьи и т. д.).

На рис. 3 представлен фрагмент ЛТС Червенского лесхоза Рованичского лесничества.

3.6. *Получение отчета по запроектированной транспортной сети.* Отчет показателей с учетом очередности строительства лесных дорог на 20 лет приведен в таблице.

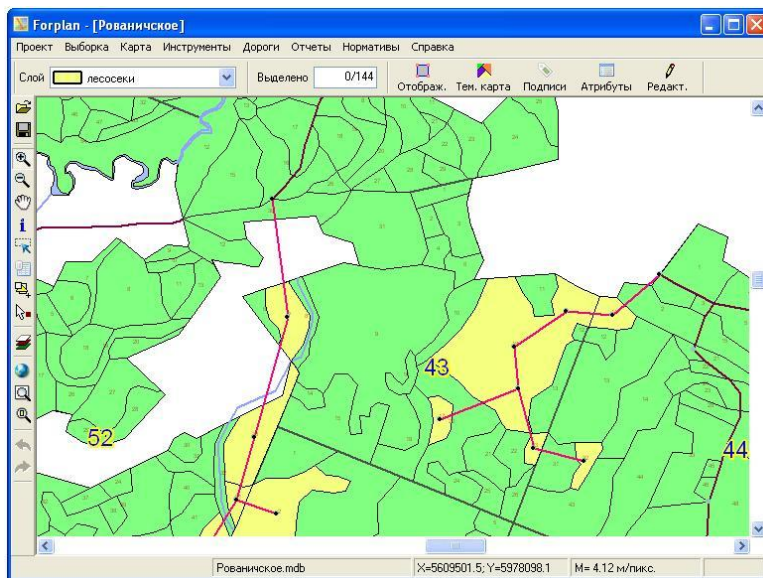


Рис. 3 Фрагмент запроектированной ЛПС

## Показатели ЛПС

Показатель	Период строительства				Итого
	I	II	III	IV	
Длина строительства, км	4,59	6,92	6,25	6,81	24,57
	4,04	6,06	5,82	8,65	24,57
Средняя стоимость строительства 1 км, млн бел. р.	116,2	126,1	114,0	108,8	116,0
	103,9	114,3	111,8	126,7	116,4
Стоимость строительства ЛПС млрд бел. р.	0,53	0,87	0,71	0,74	2,85
	0,42	0,68	0,65	1,10	2,85
Объем вывозки, тыс. м <sup>3</sup>	174,3	164,9	194,0	179,6	712,8
	164,7	182,3	173,6	192,2	712,8
Грузооборот, тыс. м <sup>3</sup> /год	34,9	33,0	38,8	35,9	35,7
	32,9	36,5	34,7	38,4	35,6
Среднее расстояние вывозки, м	495,2	793,8	1229,2	1088,7	913,6
	610,0	630,4	1170,8	1210,1	913,6
Строительство сооружений, млн бел. р.	–	10,0	20,0	–	30,0
	–	10,0	20,1	–	30,1
Общая стоимость, млрд бел. р.	0,53	0,88	0,73	0,74	2,88
	0,42	0,69	0,67	1,10	2,88

Примечание. В числителе данные, полученные по методу наступления спелости; в знаменателе – по минимуму затрат.



*Выводы*

1. Для размещения в лесном массиве необходимо проектировать ЛТС многофункционального назначения, обеспечивающие вывозку заготовленной древесины на нижние склады, транспортировку нелесных грузов и перемещение пассажиропотоков между населенными пунктами.

2. Природные условия, отличающиеся исключительным разнообразием и неоднородностью, оказывают решающее влияние на выбор параметров ЛТС.

3. Разработанная модель оптимизации ЛТС позволяет моделировать процессы транспортного освоения лесных массивов сроком на 10...20 лет и отдельных лесозаготовительных секций в течение 5...10 лет.

4. Исследование абстрактных ЛТС дало возможность с общих позиций составить их компактное математическое описание на всех уровнях моделирования. Это позволило назначить для ЛТС и их фрагментов такие общие параметры оптимизации, как конфигурация и структура.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алгоритмы и программы решения задач на графах и сетях [Текст] / М.И. Нечепуренко [и др.]. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1990. – 515 с.
2. Гильберт, Э.Н. Минимальные деревья Штейнера [Текст] / Э.Н. Гильберт, Г.О. Поллак // Кибернетический сб. Нов. сер. – 1971. – Вып. 8. – С. 19–50.
3. Хомяк, Я. В. Проектирование сетей автомобильных дорог [Текст] / Я.В. Хомяк. – М.: Транспорт, 1983. – 206 с.
4. *Bavbel, J.I.* Designing of the road network in wood of the second group [Text] / J.I.Bavbel, P.A. Lyshchik // Materials, Methods and Technology: Intern. Sci. Publ. – Bulgaria: Info Invest, 2007. – Vol. 1. – P. 49–59.
5. *Bavbel, J.I.* Development of the design technique forest road network for effective transport development of woodland in Belarus [Text] / J.I.Bavbel, P.A Lyshchik // Ibid., 2008. – Vol. 2, p. 1. – P. 116–124.

Поступила 28.01.09

*E.I. Bavbel, P.A. Lyshchik*  
Belorussian State Technological University

**Substantiation of Forest-transport Networks Placement**

The model of forest-transport ways placement is developed based on the graph theory allowing to minimize total given costs.

Keywords: abstract forest-transport network, forest-transport ways, graph theory.

---

УДК 658.581:630\*36

**В.Н. Шиловский, Г.Ю. Гольштейн**

Петрозаводский государственный университет

Шиловский Вениамин Николаевич родился в 1945 г., окончил в 1970 г. Петрозаводский государственный университет, доктор технических наук, профессор кафедры технологии металлов и ремонта ПетрГУ. Имеет более 180 печатных трудов в области надежности и ремонта лесных машин.  
Тел.: (8142) 71-10-56



Гольштейн Григорий Юрьевич родился в 1983 г., окончил в 2007 г. Петрозаводский государственный университет, аспирант ПетрГУ. Имеет 3 печатные работы в области организации и ремонта лесозаготовительных машин.  
E-mail: grigory@psu.karelia.ru



### **ОБ ИССЛЕДОВАНИИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ОТКАЗА ГИДРОСИСТЕМЫ МАНИПУЛЯТОРА БЕСЧОКЕРНОГО ТРАКТОРА**

Предложены методические подходы, математические модели по экономическому обоснованию критериев параметрических отказов, периодичности диагностики сопряжений лесозаготовительных машин.

*Ключевые слова:* параметрический отказ, экономический критерий, периодичность диагностики.

Отказы деталей и сопряжений машин и оборудования, как известно [3], делят на функциональные, при которых прекращается выполнение функций рассматриваемым элементом или объектом (например, поломка зубьев шестерни гидронасоса), и параметрические, при которых некоторые параметры объекта изменяются в недопустимых пределах (например, падение производительности трактора или потеря точности станка).

В проанализированной нами технической и нормативно-справочной литературе не представлены ни качественные, ни количественные критерии параметрического отказа гидросистемы какой-либо лесозаготовительной машины (ЛЗМ), вызванного предельным износом одного или нескольких гидроагрегатов одновременно. Отсутствуют как частные зависимости скорости и грузоподъемности манипуляторов от производительности гидронасоса и усилий, развиваемых каждым цилиндром его гидропривода, так и интегрированные математические модели зависимости производительности манипулятора от состояния параметров (развиваемое давление в гидроприводе, скорость, масса перемещаемого груза и т. п.) гидроагрегатов и гидроцилиндров всего гидропривода. Нет обоснованных данных о влиянии производительности манипулятора на производительность ЛЗМ и, следовательно, о пороге себестоимости единицы производимой продукции, который не должен быть ниже доходной ставки.

Цель нашей статьи – определить возможность повышения экономической эффективности использования ЛЗМ при своевременном выявлении и предупреждении параметрических отказов гидропривода. Задачей исследования является разработка методических положений о технико-экономическом обосновании качественного критерия параметрического отказа гидропривода манипулятора трактора для бесчokerной трелевки леса, а также о периодичности проверок его технического состояния. Эти положения разрабатываются впервые и, безусловно, актуальны для лесозаготовительных предприятий, работающих в рыночных условиях. Статья носит методический постановочный характер, экспериментальная проверка, окончательные результаты и выводы будут представлены в дальнейшем.

Рассмотрим влияние снижения производительности гидроманипулятора трелевочного трактора на экономическую эффективность его работы. Техническую производительность  $P_T$  найдем по формуле [4]

$$P_T = \frac{3600Q}{T_p}, \quad (1)$$

где  $Q$  – объем пачки деревьев, которую можно погрузить в зажимной коник за рейс, м<sup>3</sup>;

$T_p$  – продолжительность работы гидроманипулятора за период набора пачки, с.

Расчетную себестоимость ( $C_p$ ) 1 м<sup>3</sup> древесины, перемещаемой гидроманипулятором, а затем трелеваемой трактором, определим по формуле

$$C_p = \frac{1}{P_T} \left( C_{\text{пер}} + \frac{C_{\text{пост}} T_p}{3600} \right), \quad (2)$$

где  $C_{\text{пер}}$ ,  $C_{\text{пост}}$  – соответственно переменные и постоянные расходы, приходящиеся на 1 ч эксплуатации гидропривода.

Для достижения рентабельной работы гидроманипулятора, а значит, трактора в целом, нельзя допускать, чтобы себестоимость превышала доходную ставку ( $C_d$ ), т. е.  $C_d \geq C_p$ . Располагая показателями работы гидроманипулятора, можно установить зависимость себестоимости единицы продукции от износа гидроагрегатов через изменение параметров их технической характеристики (производительность гидронасоса; усилие, развиваемое гидроцилиндром, и т. п.).

На условном примере рассчитаем себестоимость 1 м<sup>3</sup> древесины в зависимости от снижения часовой производительности гидроманипулятора. Для гусеничного трелевочного трактора типа ТБ-1М примем данные, характеризующие параметры набора гидроманипулятором пачки деревьев за комли:  $Q = 8 \text{ м}^3$ ;  $T_p = 864 \text{ с}$ ;  $C_{\text{пер}} = 204 \text{ р./ч}$ ;  $C_{\text{пост}} = 124 \text{ р./ч}$ ;  $C_d = 8,5 \text{ р./ч}$ . Тогда техническая производительность гидроманипулятора трелевочного трактора

$$P_T = \frac{3600 \cdot 8}{864} = 33,33 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

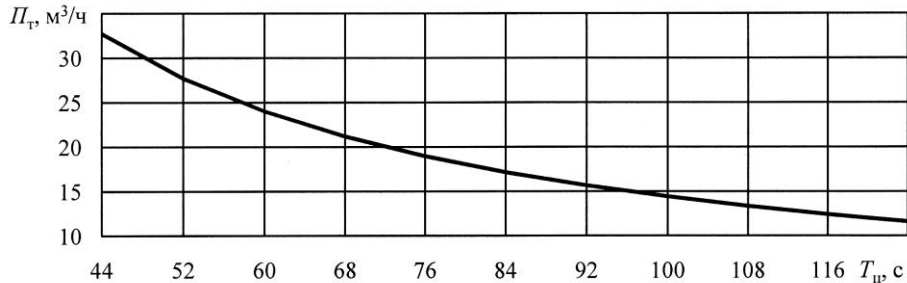


Рис. 1. Зависимость условной технической производительности гидроманипулятора от времени цикла его работы

Зависимость условной технической производительности от времени цикла работы гидроманипулятора  $T_{ц}$  приведена на рис. 1.

Расчетная себестоимость  $1 \text{ м}^3$  древесины, перемещаемой гидроманипулятором с технически исправным гидроприводом,

$$C_p = \frac{1}{33,33} \left( 204 + \frac{124 \cdot 864}{3600} \right) = 7,03 \text{ р./м}^3.$$

Зависимость расчетной себестоимости от производительности гидроманипулятора представлена на рис. 2. В рассмотренном условном примере производительность гидроманипулятора не должна быть ниже  $28 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Приведенный пример показывает, что при расчетах необходимо знать реальные характеристики параметрических отказов гидроагрегатов.

Проверка фактического технического состояния объекта, как правило, сопряжена с затратами и выведением его на некоторое время из эксплуатации. Частые проверки приводят к увеличению затрат на их проведение и, самое главное, уменьшению коэффициента технической готовности и использования лесозаготовительной машины. Редкие проверки создают определенную вероятность эксплуатации оборудования и машины за пределами допустимого уровня снижения производительности. Таким образом, налицо противоречивость факторов, воздействующих на эффективность эксплуатации лесозаготовительной машины и в значительной степени определяющих стратегии и способы проверки технического состояния изучаемых объектов.

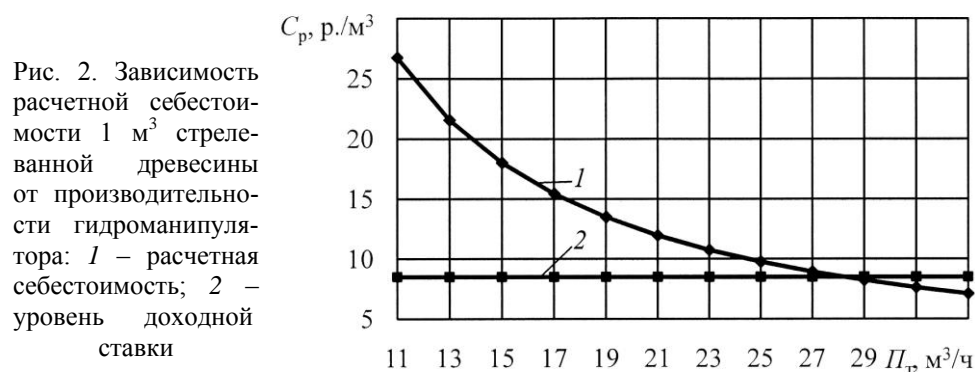


Рис. 2. Зависимость расчетной себестоимости  $1 \text{ м}^3$  стрелованной древесины от производительности гидроманипулятора: 1 – расчетная себестоимость; 2 – уровень доходной ставки

Рассмотрим концепцию планирования проверок на основе баланса их стоимости и потерь от необнаруженных неисправностей системы. Будем считать, что каждая проверка имеет фиксированную стоимость  $C_1$ , а пребывание системы в неисправном состоянии в течение 1 ч обходится в  $C_2$ , р./ч. Тогда отказ (снижение технических показателей ниже допустимых), возникающий в любой момент между некоторыми  $k$ -й и  $(k+1)$ -й проверками, вызывает эксплуатационные потери, которые в среднем равны  $\int_{t_k}^{t_{k+1}} \{C_1(k+1) + C_2(t_{k+1} - x)\} dF(x)$ , где  $F(x)$  – распределение времени до первого параметрического отказа системы.

Параметрический отказ может возникнуть после любой по счету проверки, поэтому полные ожидаемые потери ( $M[\Pi_3]$ ) от эксплуатации машины после его возникновения можно определить по выражению

$$M[\Pi_3] = \sum_{k=0}^{\infty} \int_{t_k}^{t_{k+1}} \{C_1(k+1) + C_2(t_{k+1} - x)\} dF(x). \quad (3)$$

Организация проверок через постоянный период времени определяет так называемую периодическую стратегию, с переменным интервалом – последовательную [1]. В начале эксплуатации может быть выбрана периодическая стратегия. С течением времени, когда состояние сопряжений приближается к предельному по экономическому критерию, периодичность проверок должна изменяться, т. е. сокращаться периоды между ними, чтобы не пропустить возникновения параметрического или аварийного отказа. На конечном интервале времени  $T$  нужно так спланировать число проверок и интервалы между ними, чтобы достигался минимум возможных потерь вида (3) при любом, даже неизвестном распределении  $F(t)$ .

При организации проверок через постоянный интервал  $\tau$  полные ожидаемые эксплуатационные потери найдем по выражению

$$M[\Pi_3] = \sum_{k=0}^{\infty} \int_{k\tau}^{(k+1)\tau} \{C_1(k+1) + C_2[(k+1)\tau - x]\} dF(x). \quad (4)$$

При неизвестном законе распределения  $F(t)$  могут быть предложены последовательно периодические стратегии проверок с периодом  $T$ , имеющим конечное значение. В этом случае нетрудно представить эксплуатационные потери, обусловленные неисправностью, возникающей между  $k$ -й и  $(k+1)$ -й проверками ( $k = 0, 1, 2, \dots, n-1$ ). Если обозначить через  $\omega$  случайный момент параметрического отказа системы, то при различных условиях его возникновения во времени потери будут равны:

$$Q(\omega) = \begin{cases} C_1(k+1) + C_2(t_{k+1} - \omega), & \text{если } t_k < \omega \leq t_{k+1} (k = 0, 1, \dots, n-1); \\ C_1n + C_2(T - \omega), & \text{если } t_n < \omega \leq T; \\ C_1n, & \text{если } \omega > T. \end{cases} \quad (5)$$

Поскольку параметрический отказ системы может возникнуть в любой момент времени в заданном интервале или вообще не возникнуть за время  $(0, T)$ , то полные ожидаемые потери  $(M[\Pi_3(T)])$  за это время составят:

$$M[\Pi_3(T)] = \sum_{k=0}^{n-1} \int_{t_k}^{t_{k+1}} \{C_1(k+1) + C_2(t_{k+1} - x)\} dF(x) + \int \{C_1 n + C_2(T - x)\} dF(x) + C_1 n \int_T^{\infty} dF(x). \quad (6)$$

При неизвестном распределении момента появления неисправности  $F(t)$  планирование проверок можно формулировать на основе известного минимаксного критерия  $\min_{\{t_k\}n} \max_{F(t)} M[\Pi_3(T)]$  ( $k = 0, 1, 2, \dots, n$ ). Значения  $(M[\Pi_3(T)])$  вычисляются по выражению (6), а максимум берут по всем возможным распределениям  $F(t)$ .

Минимаксная стратегия проверок сводится к выводу числа проверок  $n$  как наибольшего целого числа, удовлетворяющего неравенству

$$C_1 n^2 + C_1 n + 2(C_1 - C_2 T) \leq 0. \quad (7)$$

Моменты последовательных проверок  $t_k$  определяют по выражению [2]

$$t_k = k \left[ \frac{T}{n+1} + \frac{C_1}{2C_2} \left( \frac{n(n+3)}{n+1} - (k+1) \right) \right]. \quad (8)$$

Согласно работе [5] диагностику гидроагрегатов гидросистемы привода технологического оборудования ЛЗМ целесообразно проводить передвижными средствами технического сервиса.

#### Выводы

1. Предложена методика определения состояния параметрического отказа гидропривода технологического оборудования ЛЗМ по экономическому критерию, при котором себестоимость  $1 \text{ м}^3$  заготовленной древесины превышает доходную ставку.

2. Для определения момента возникновения параметрического отказа предложена концепция планирования проверок на основе баланса стоимости проверок и потерь от необнаруженных неисправностей объекта с описанием периодических и последовательно-периодических проверок.

3. Предложенные методические положения в условиях конкурентных рыночных отношений могут быть востребованы и использованы для повышения экономической эффективности эксплуатации ЛЗМ применительно к конкретным условиям конкретной машины, что показано на условном примере – числовом эксперименте.

4. Разработанные методические положения имеют как научное, так и практическое значение и могут быть использованы при подготовке менеджеров технического сервиса лесозаготовительных машин.

5. Работы по проведению теоретических и экспериментальных исследований параметрических отказов как части системы технического обслуживания и ремонта машин по их фактическому техническому состоянию требуют продолжения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Перроте, А.И.* О режиме оптимальной профилактики систем длительного пользования [Текст] / А.И. Перроте // Автоматика. – 1961. – № 3.
2. *Райкин, А.Л.* Элементы теории надежности для проектирования технических систем [Текст] / А.Л. Райкин. – М.: Сов. радио, 1967. – 265 с.
3. *Решетов, Д.Н.* Надежность машин [Текст]: учеб. пособие для машиностр. спец. вузов / Д.Н. Решетов, А.С. Иванов, В.З. Фадеев; под ред. Д.Н. Решетова. – М.: Высш. шк., 1988. – 238 с.
4. *Швед, А.И.* Трелевочные тракторы [Текст] / А.И. Швед. – Челябинск, 2003. – 267 с.
5. *Шиловский, В.Н.* Теоретические основы и стратегии организации маркетинга и менеджмента технического сервиса территориально распределенных машин и оборудования [Текст]: монография / В.Н. Шиловский. – Петрозаводск, 2001. – 324 с.

Поступила 15.01.08

*V.N. Shilovsky, G.Yu. Golschtein*  
Petrozavodsk State University

### **On Investigation of Parametric Failure of Hydraulic System for Chokerless Tractor Manipulator**

Methodical approaches, mathematical models on economic substantiation of parametric failures criteria, diagnostics frequency of logging machines conjugation are offered.

Keywords: parametric failure, economic criterion, diagnostics frequency.

---



## МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 630\*945.4

*А.С. Торопов, С.А. Торопов, Е.В. Микрюкова*

Марийский государственный технический университет

Торопов Александр Степанович родился в 1950 г., окончил в 1973 г. Марийский политехнический институт, доктор, профессор кафедры деревообрабатывающих производств Марийского государственного технического университета, заслуженный деятель науки республики Марий Эл. Имеет около 180 печатных работ в области интенсификации процессов распиловки лесоматериалов.  
E-mail: kafedradop@mail.ru



Торопов Сергей Александрович родился в 1971 г., окончил в 1993 г. Марийский политехнический институт. Имеет около 10 печатных работ в области интенсификации процессов распиловки лесоматериалов.  
E-mail: kafedradop@mail.ru



Микрюкова Елена Вячеславовна родилась в 1975 г., окончила в 1997 г. Марийский государственный технический университет, старший преподаватель кафедры деревообрабатывающих производств МарГТУ. Имеет около 10 печатных работ в области раскроя круглых лесоматериалов.  
E-mail: lemikora@ya.ru



## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРАЖЕННОСТИ ДРЕВЕСИНЫ НАПЕННОЙ ГНИЛЬЮ

Получены адекватные модели для математического описания процесса раскроя круглых лесоматериалов, пораженных напенной гнилью, на пилопродукцию.

*Ключевые слова:* напенная гниль, древесина, аллометрический метод, методика проведения замеров, ель, пихта, береза, осина.

Оптимальный раскрой лесоматериалов осуществим при адекватном аналитическом описании формы образующей хлыста, а также развития пороков, в частности сердцевинной напенной гнили.

Изменение диаметра напенной гнили по длине ствола дерева в соответствии с аллометрическим законом [2] (рис. 1) имеет следующий вид:

$$d_r = d_{r0} - al_r^b, \quad (1)$$

где  $d_r$  – диаметр напенной гнили в произвольном сечении, м;

$d_{r0}$  – диаметр гнили в комле круглого лесоматериала, м;

$l_r$  – длина поражения напенной гнилью, м;

$a, b$  – соответственно константы начального состояния и равновесия,



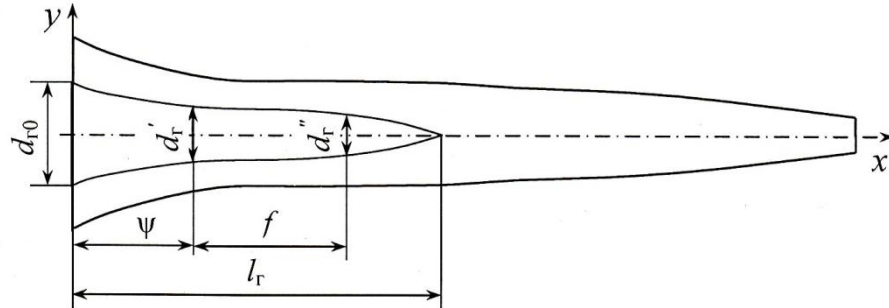


Рис. 1. Расчетная схема

$$a = (1/\psi)^b (d_{r0} - d'_r);$$

$$b = \ln[(d_{r0} - d''_r)/(d_{r0} - d'_r)] / \ln[(\psi + f)/\psi];$$

$d'_r, d''_r$  – диаметр гнили в двух местах замера по длине поражения  $l_r$ ;

$\psi$  – абсцисса места первого замера, м;

$f$  – расстояние между замерами диаметров гнили, м.

Согласно (1), исследуемая функция зависит от нескольких случайных аргументов.

Известно, что математическое ожидание  $M$  функции от произвольного числа случайных аргументов  $\varphi(x_1, \dots, x_n)$

$$M[\varphi(x_1, \dots, x_n)] = \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi(x_1, \dots, x_n) f(x_1, \dots, x_n) dx_1 \dots dx_n, \quad (2)$$

где  $f(x_1, \dots, x_n)$  – многомерная плотность распределения величин  $x_1, \dots, x_n$ .

Дисперсия

$$D[\varphi(x_1, \dots, x_n)] = \int_{-\infty}^{+\infty} [\varphi(x_1, \dots, x_n) - m_\varphi]^2 f(x_1, \dots, x_n) dx_1 \dots dx_n. \quad (3)$$

В общем случае найти  $M$  и  $D$  довольно сложно. Для этого чаще всего используют метод статистической линеаризации, основанный на разложении функции в ряд Тейлора в точке  $x_i = m_{x_i}$ , т. е. в окрестности математического ожидания  $x$ .

При этом формула для определения математического ожидания имеет следующий вид:

$$M(x_{(n)}) = \varphi(x_1, \dots, x_n) + \sum_{i=1}^n \frac{\delta \varphi(x_{(n)})}{\delta x_{(n)}} M(x_i - m_{x_i}) + \dots \quad (4)$$

В случае, если  $x_1, \dots, x_n$  – независимые случайные величины,

$$M(x_{(n)}) = \varphi(x_1, \dots, x_n) + \frac{1}{2} \sum \frac{\delta^2 \varphi(x_{(n)})}{\delta x_{(n)}^2} \Big|_{x=m_x} D(x_{(n)}), \quad (5)$$

где  $D(x_{(n)})$  – дисперсия в точке  $x = m_x$ .

Обычно отбрасывают и второй член равенства (5):

$$M[\varphi(x_{(n)})] = \varphi(m_{x_1}, \dots, m_{x_m}). \quad (6)$$

Тогда выражение (1)

$$m_{d_\Gamma} = m_{d_{r0}} - m_a l^{m_b}, \quad (7)$$

где  $m_{d_{r0}}, m_a, m_b$  – математические ожидания соответственно случайных величин  $d_{r0}, a$  и  $b$ .

При этом

$$m_a = \left( \frac{1}{m_\Psi} \right)^{m_b} (m_{d'_\Gamma} - m_{d''_\Gamma});$$

$$m_b = \ln[(m_{d_{r0}} - m_{d'_2})(m_{d_{r0}} - m_{d''_2})] / \ln[(m_\Psi + m_f) / m_\Psi], \quad (8)$$

где  $m_\Psi, m_{d'_\Gamma}, m_{d''_\Gamma}, m_f$  – математические ожидания соответственно случайных величин  $\Psi, d'_\Gamma, d''_\Gamma$  и  $f$ .

Дисперсию в точке  $x = m_x$  определяют следующим образом:

$$D(x_{(n)}) = \sum_{i=1}^n \left[ \frac{\delta \varphi(x_{(n)})}{\delta x_i} \Big|_{x=m_x} \right]^2 D_{x_i}. \quad (9)$$

Следовательно, чтобы получить дисперсию  $D(d_\Gamma)$ , необходимо продифференцировать (1) по  $d_{r0}, d'_2, d''_2, \Psi$  и  $f$ :

$$\frac{\delta d_\Gamma}{\delta d_{r0}} = 1 - (l/\Psi)^b + (l/\Psi)^b \frac{(d' - d'')}{(d_{r0} - d'') \ln[(\Psi + f)/\Psi]} \ln \frac{l}{\Psi};$$

$$\frac{\delta d_\Gamma}{\delta d'} = (l/\Psi)^b - (l/\Psi)^b \frac{1}{\ln[(\Psi + f)/\Psi]} \ln \frac{l}{\Psi};$$

$$\frac{\delta d_\Gamma}{\delta d''} = (l/\Psi)^b \frac{(d_{r0} - d')}{(d_{r0} - d'') \ln[(\Psi + f)/\Psi]} \ln \frac{l}{\Psi}; \quad (10)$$

$$\frac{\delta d_\Gamma}{\delta \Psi} = -(l/\Psi)^b \frac{f(d_{r0} - d') \ln[(d_{r0} - d'')/(d_{r0} - d')]}{\Psi(\Psi + f) \{ \ln[(\Psi + f)/\Psi] \}^2} \times$$

$$\times \ln \frac{l}{\Psi} - (d_{r0} - d') b (l/\Psi)^{b-1} (l/\Psi)^2;$$

$$\frac{\delta d_\Gamma}{\delta f} = -(l/\Psi)^b \frac{(d_{r0} - d') \ln[(d_{r0} - d'')/(d_{r0} - d')]}{(\Psi + f) \{ \ln[(\Psi + f)/\Psi] \}^2} \ln \frac{l}{\Psi}.$$

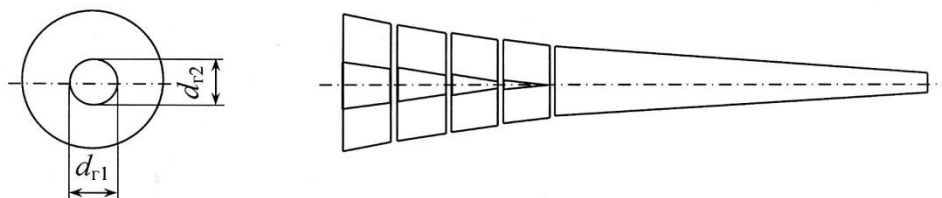


Рис. 2. Методика проведения замеров диаметров напенной гнили на торцах срезов

Далее подставляют их математические ожидания и дисперсии, т. е.  $m_{d_{r0}}, m_{d_r'}, m_{d_r''}, m_{\psi}, m_f, D_{d_{r0}}, D_{d_r'}, D_{d_r''}, D_{\psi}$  и  $D_f$ , и вычисляют  $D(d_r)$ .

На основе математических положений (1)–(10) разработана программа ALLOMPR, позволяющая исследовать пораженность древесины напенной гнилью аллометрическим методом.

Предложено несколько методик проведения замеров для определения пораженности древесины напенной гнилью, которые можно разделить на два типа: на срубленных древостоях и на растущих.

Рассмотрим варианты исследования пораженности древесины напенной гнилью на срубленных деревьях (хлыстах).

1. Непосредственное измерение диаметра гнили в двух взаимно перпендикулярных направлениях на торцах после проведения поперечных пропилов (рис. 2).

2. Высверливание гнили с комлевого торца и проведение замеров диаметров внутренней полости (рис. 3).

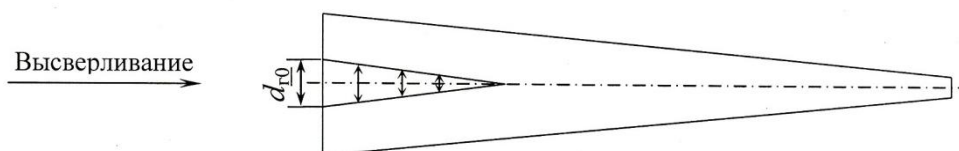


Рис. 3. Методика проведения замеров внутренней полости после высверливания напенной гнили

Эта методика основана на различии в плотности (в твердости) здоровой и пораженной древесины.

Для растущих древостоев предлагаются следующие методики исследования пораженности древесины напенной гнилью:

исследование при помощи кернов (рис. 4, а, б);

удаление гнили через боковое отверстие (рис. 4, в).

С использованием одной из предлагаемых методик исследования пораженности древесины напенной гнилью, результатов А.И. Алексева [1] и программы ALLOMPR получены зависимости диаметра напенной гнили по длине ствола для четырех древесных пород:

- |           |                                      |
|-----------|--------------------------------------|
| 1) ель    | $d_r = 0,444 - 0,057d_r^{1,0342}$ ;  |
| 2) пихта  | $d_r = 0,652 - 0,0227d_r^{1,2376}$ ; |
| 3) береза | $d_r = 0,386 - 0,153d_r^{0,8395}$ ;  |
| 4) осина  | $d_r = 0,303 - 0,0122d_r^{1,0243}$ . |

Адекватность этих математических моделей доказана с помощью критерия Фишера.

Полученные зависимости позволяют определить объем, занимаемый напенной гнилью:

$$V_r = \frac{\pi}{4} \int_0^{l_r} d_r^2 dl.$$

После подстановки в это выражение формулы (1) и интегрирования

$$V_r = \frac{\pi}{4} \left( d_{r0}^2 l_r + 2 \frac{a d_{r0}}{b+1} l_r^{b+1} + \frac{a^2}{2b+1} l_r^{2b+1} \right).$$

При определении эффективности раскря древесины используют критерий объемного выхода пилопродукции (% от объема сырья):

$$p = \frac{V_{п.п}}{V} 100,$$

где  $V_{п.п}$  – объем полученной пилопродукции, м<sup>3</sup>;

$V$  – объем древесины, м<sup>3</sup>.

Для низкокачественной древесины (пораженной напенной гнилью) целесообразно ввести критерий выхода пилопродукции из здоровой части этой древесины. Таким образом, выход пилопродукции (%) из здоровой части низкокачественной древесины

$$p_3 = \frac{V_{п.п}}{V - V_r} 100.$$

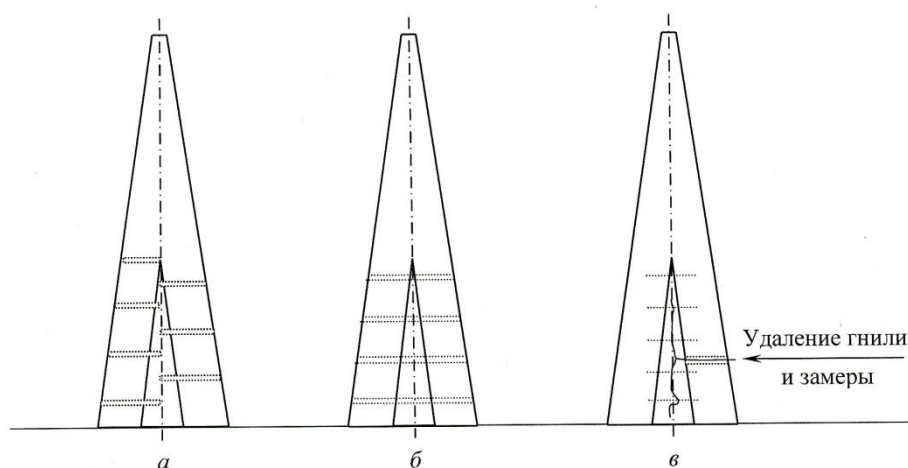


Рис. 4. Методика проведения замеров в растущих древостоях

Этот критерий оценивает эффективность использования здоровой части древесины.

Таким образом, предлагаемая методика исследования формы образующей напенной гнили позволяет получать адекватные модели, которые могут быть использованы для математического описания процесса раскрытия круглых лесоматериалов, имеющих этот порок, на пилопродукцию.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Внедрение нового способа товаризации лесосечного фонда в условиях фауности [Текст]: отчет о НИР (заключ.) / МПИ; Исполн.: Алексеев И.А. и [др.]. – Йошкар-Ола, 1989.

2. *Торопов, А.С.* Интенсификация производственных процессов поперечной распиловки лесоматериалов [Текст]: автореф. дис. ... докт. техн. наук / А.С. Торопов. – СПб., 1993.– 31с.

Поступила 23.06.2008

*A.S. Toropov, S.A. Toropov, E.V. Mikryukova*  
Mari State Technical University

#### **Investigation of Wood Affected by Stump Rot**

Adequate models are obtained for mathematical description of the cutting process of round wood affected by stump rot for sawn timber.

Keywords: stump rot, wood, allometric method, measuring technique, spruce, fir, birch, aspen.

---

УДК 621.311

*С.П. Агеев*

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

Агеев Сергей Петрович родился в 1957 г., окончил в 1979 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизированных систем технической подготовки производства филиала «Севмашвтуз» СПбГМТУ. Имеет более 60 научных работ в области электроснабжения промышленных предприятий.  
Тел.: (8184) 20-03-57



## КЛАССИФИКАЦИЯ И СВОЙСТВА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЕСОПИЛЬНЫХ РАМ

Выполнены построение и анализ энергетических характеристик лесопильных рам в зависимости от изменения их загрузки и времени использования в операционном цикле.

*Ключевые слова:* потребляемая мощность, электроэнергия, удельный расход энергии, потери энергии, производительность, энергетическая характеристика, рабочий цикл.

Лесопильные рамы являются одними из энергоемких потребителей лесопильного производства. Для оценки экономичности их работы при различной производительности применяют энергетические характеристики, представляющие собой зависимости абсолютного или удельного расходов электроэнергии от производительности оборудования при постоянном режиме нагрузки [1]. Энергетические характеристики обладают некоторыми особенностями. Они заключаются в том, что циклический характер распиловки древесины, возможность измерять ее объем за целое число операционных циклов и наличие операционных перерывов в работе препятствуют построению энергетических характеристик мгновенных значений соответствующих величин.

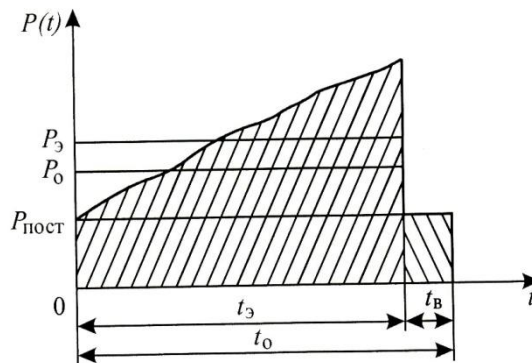
Цель настоящей статьи – выяснить влияние основных технологических параметров работы лесопильных рам на их энергетические показатели.

На рис. 1 приведен график потребления активной мощности  $P(t)$  за операционное время  $t_0$  одного рабочего цикла распиловки бревна.

Характеристику, относящуюся к операционному времени, удастся построить только как зависимость расхода электроэнергии  $w_0$  за полный цикл от объема распиленного бревна  $V$ :  $w_0 = f(V)$ , или как зависимость средней потребляемой мощности  $P_0$  от средней часовой производительности  $A_0$ :  $P_0 = f(A_0)$ . Соответственно и характеристика удельного расхода электро-

энергии выражает здесь зависимость среднего удельного расхода энергии  $d_o$  от средней часовой производительности, т. е.  $d_o = \varphi(A_o)$ .

Рис. 1. График электропотребления лесопильной рамы за время операционного цикла  
(▨ –  $w_3$ ; ▩ –  $w_b$ )



На производительность  $A_o$  лесопильных рам влияют изменения не только технологических параметров их работы и загрузки (объем бревен, скорость подачи), но и доли вспомогательного времени  $t_b$  в составе операционного  $t_o$ . При этом зависимости  $P_o = f(A_o)$  и  $d_o = \varphi(A_o)$  не однозначны, а имеют различный характер при изменении  $A_o$  под влиянием каждой из указанных аргументирующих величин. Таким образом, одному и тому же значению  $A_o$  в общем случае может соответствовать большой диапазон значений  $P_o$  и  $d_o$ . В связи с этим представляется целесообразным при нормировании и анализе электропотребления лесопильных рам пользоваться двумя видами энергетических характеристик [4].

*Частные аналитические энергетические характеристики.* Эти характеристики относятся к эффективному времени  $t_3$  и, следовательно, к средней часовой производительности  $A_3$ . При этом каждая из них должна соответствовать изменению  $A_3$  под влиянием только одной из указанных аргументирующих величин при постоянных значениях всех остальных.

Нами получено уравнение энергетической характеристики электропривода механизма резания лесопильной рамы [3]:

$$P_3 = (1 + b_{м.п})(1 + b_d)(1 + b_{ш})c_{п}\sqrt{A_3} + P_{пост} = b_{л.р}c_{п}\sqrt{A_3} + P_{пост}, \quad (1)$$

где  $P_3$  – средняя активная мощность за эффективное время, потребляемая двигателем из сети, кВт;

$b_{м.п}$ ,  $b_d$ ,  $b_{ш}$  – коэффициенты переменных потерь соответственно в механизме передачи, двигателе и кривошипно-шатунном механизме;

$c_{п}$  – постоянный (при определенных условиях) параметр, характеризующий энергоемкость процесса резания,  $\text{кДж/м}^{1,5}\text{с}^{0,5}$ ;

$A_3$  – средняя часовая производительность лесопильной рамы за эффективное время,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$P_{пост}$  – мощность постоянных потерь энергии (холостого хода), кВт;

$b_{л.р}$  – коэффициент, совокупно учитывающий переменные

(нагрузочные) потери энергии в лесопильной раме.  
При этом параметр [2], характеризующий энергоемкость,

$$c_{\text{п}} = 2K_{\text{T}} B_{\text{пр}} Z_{\text{п}} \frac{a_{\text{п.р}} a_{\text{р}} a_1}{1000\sqrt{\pi}} \sqrt{u}, \quad (2)$$

где  $K_{\text{T}}$  – удельная работа при нормированных (табличных) условиях резания, Дж/м<sup>3</sup>;

$B_{\text{пр}}$  – ширина пропила, м;

$Z_{\text{п}}$  – число пил в поставе;

$a_{\text{п.р}}$  – коэффициент, учитывающий плотность древесины различных пород;

$a_{\text{р}}$  – коэффициент, учитывающий затупление резцов и зависящий от длительности работы пил после заточки;

$a_1$  – коэффициент поставы, принимаемый в зависимости от вида распиловки [5];

$u$  – скорость подачи бревен, м/с.

Время распиловки одного бревна ( $t_3$ ) для каждого поставы [6]

$$t_3 = \frac{L}{u} = \frac{1000 \cdot 60L}{\Delta_p n}, \quad (3)$$

где  $L$  – длина бревна, м;

$\Delta_p$  – расчетная посылка, мм;

$n$  – частота вращения вала рамы, мин<sup>-1</sup>.

Тогда средняя производительность лесопильной рамы (м<sup>3</sup>/с) за эффективное время

$$A_3 = \frac{V}{t_3} = \frac{Vu}{L}. \quad (4)$$

Подставив (2) и (4) в выражение (1), получим

$$P_3 = 2b_{\text{л.р}} K_{\text{T}} B_{\text{пр}} Z_{\text{п}} \frac{a_{\text{п.р}} a_{\text{р}} a_1}{1000\sqrt{\pi}} u \sqrt{\frac{V}{L}} + P_{\text{пост.}} \quad (5)$$

Выражение (5) показывает, что зависимости средней потребляемой мощности  $P_3$  от каждого из параметров процесса различны. Например, при изменении скорости подачи она прямолинейна, а при изменении объема бревна – криволинейна (выпукла вверх).

Запишем уравнение энергетического баланса лесопильной рамы, отнесенного к эффективному времени распиловки бревен:

$$\begin{aligned} w_3 = P_3 t_3 &= 2b_{\text{л.р}} K_{\text{T}} B_{\text{пр}} Z_{\text{п}} \frac{a_{\text{п.р}} a_{\text{р}} a_1}{1000\sqrt{\pi}} u \sqrt{\frac{V}{L}} \frac{L}{3600u} + P_{\text{пост.}} \frac{L}{3600u} = \\ &= 2b_{\text{л.р}} K_{\text{T}} B_{\text{пр}} Z_{\text{п}} \frac{a_{\text{п.р}} a_{\text{р}} a_1}{3600000\sqrt{\pi}} \sqrt{VL} + P_{\text{пост.}} \frac{L}{3600u}, \end{aligned} \quad (6)$$

где  $w_3$  – электроэнергия, потребляемая механизмом резания за эффективное время, кВт·ч;



Часовая производительность ( $\text{м}^3/\text{ч}$ ), лесопильной рамы за эффективное время ее работы

$$A_3 = \frac{3600V}{t_3} = \frac{3600Vu}{L} = \frac{3600V\Delta_p n}{1000 \cdot 60L} = \frac{6V\Delta_p n}{100L}.$$

Удельный расход энергии ( $\text{кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^3$ ), отнесенный к эффективному времени работы лесопильной рамы,

$$d_3 = \frac{P_3}{A_3} = \frac{P_{\text{пост}}L}{3600Vu} + 2b_{\text{л.п}} \frac{K_{\tau} B_{\text{пр}} a_{\text{п.п}} Z_{\text{п}} a_{\rho} a_1}{1000 \cdot 3600 \sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{L}{V}}. \quad (7)$$

На рис. 2 приведены энергетические характеристики лесопильных рам, не учитывающие и учитывающие вспомогательное время.

Из выражения (7) и рис. 2 видно, что при одном и том же увеличении производительности  $A_3$  удельный расход электроэнергии снижается по-разному. Так, наибольший эффект дает увеличение объема бревен, затем –

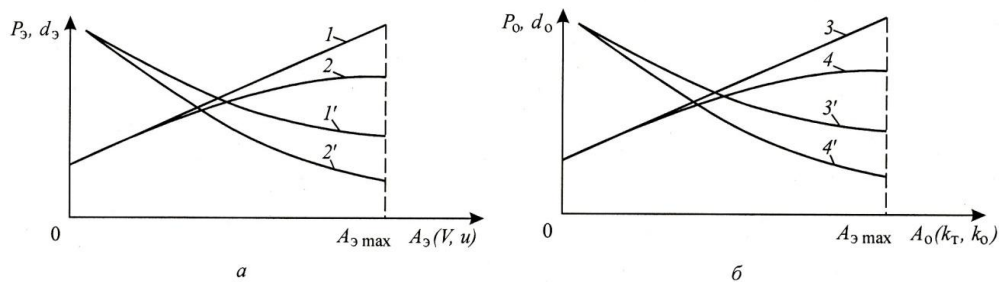


Рис. 2. Энергетические характеристики лесопильной рамы при работе без учета (а) и с учетом (б) операционного вспомогательного времени: 1, 1' – изменение  $A_3$  за счет изменения  $u$ ; 2, 2' –  $V$ ; 3, 3' – изменение  $A_0$  за счет изменения  $k_0$ ; 4, 4' –  $k_{\tau}$

*Нормовые энергетические характеристики* [2]. В производственных условиях производительность лесопильных рам чаще всего подвергается изменениям под влиянием колебаний загрузки (переменный объем распиливаемых бревен) и продолжительности вспомогательного времени. Поэтому для анализа зависимости показателей электропотребления от указанных факторов могут быть рекомендованы нормовые энергетические характеристики, выражающие зависимость средних потребляемой мощности  $P_0$  и удельного расхода электроэнергии  $d_0$  от среднечасовой производительности  $A_0$  за операционное время  $t_0$  при постоянных технологических параметрах работы лесопильных рам. Последние при построении нормовых характеристик необходимо принимать равными тем нормализованным величинам, которые устанавливаются в результате анализа электропотребления с помощью частных аналитических характеристик  $P_3 = f(A_3)$  и  $d_3 = \varphi(A_3)$ . Составим для этого случая энергобаланс лесопильной рамы, отнесенный к одному полному операционному циклу распиловки бревен:

$$w_0 = w_3 + w_B = b_{\text{л.п}} P_{\text{рез}} t_3 + P_{\text{пост}} t_3 + P_{\text{пост}} t_B = b_{\text{л.п}} P_{\text{рез}} t_3 +$$

$$+ P_{\text{пост}} t_0 = b_{\text{л.р}} c_{\text{п}} \sqrt{A_{\text{э}}} t_{\text{э}} + P_{\text{пост}} t_0, \quad (8)$$

где  $w_0$  – электроэнергия, потребляемая электродвигателем механизма резания за один операционный цикл, кВт·ч;

$w_{\text{в}}$  – то же за вспомогательное время  $t_{\text{в}}$ , кВт·ч.

Разделив (8) на полное время  $t_0$  одного операционного цикла, получим выражение для средней потребляемой мощности:

$$P_0 = \frac{w_0}{t_0} = P_{\text{пост}} + b_{\text{л.р}} c_{\text{п}} \sqrt{A_{\text{э}}} \frac{t_{\text{э}}}{t_0} = P_{\text{пост}} + b_{\text{л.р}} c_{\text{п}} \sqrt{k_{\text{т}} A_{\text{эмакс}}} k_0, \quad (9)$$

где  $k_{\text{т}}$  – технологический коэффициент загрузки механизма резания;

$A_{\text{эмакс}}$  – максимальная среднечасовая производительность лесопильной рамы, отнесенная к эффективному времени;

$k_0$  – коэффициент использования лесопильной рамы в операционном времени;

По условию средняя часовая производительность  $A_0$  варьирует только при изменении загрузки лесопильной рамы за цикл и продолжительности вспомогательного времени  $t_{\text{в}}$ . Соответственно технологический коэффициент загрузки  $k_{\text{т}}$  изменяется только под влиянием изменения объема распиливаемых бревен  $V$ , а коэффициент  $k_0$  – только под влиянием изменения  $t_{\text{в}}$ . В зависимости от указанных факторов характер изменения мощности  $P_0$  будет различным. Так, при изменении объема распиливаемых бревен (коэффициент  $k_{\text{т}}$ ) зависимость  $P_0 = f(A_0)$  нелинейная, а при изменении продолжительности  $t_{\text{в}}$  – линейная.

Разделив (9) на  $A_0$ , получим уравнение среднего удельного расхода энергии:

$$d_0 = \frac{P_0}{A_0} = \frac{P_{\text{пост}}}{A_0} + \frac{b_{\text{л.р}} c_{\text{п}} k_0 \sqrt{k_{\text{т}} A_{\text{эмакс}}}}{A_0} = \frac{P_{\text{пост}}}{A_0} + \frac{b_{\text{л.р}} c_{\text{п}}}{A_0} \sqrt{k_{\text{т}} A_{\text{эмакс}}} k_0^2. \quad (10)$$

Учитывая, что  $A_0 = k_0 k_{\text{т}} A_{\text{эмакс}}$ , а также (2), получим

$$d_0 = \frac{P_{\text{пост}}}{k_0 k_{\text{т}} A_{\text{эмакс}}} + \frac{b_{\text{л.р}} c_{\text{п}}}{\sqrt{k_{\text{т}} A_{\text{эмакс}}}} = \frac{P_{\text{пост}}}{k_0 k_{\text{т}} A_{\text{эмакс}}} + \frac{2b_{\text{л.р}} K_{\text{т}} B_{\text{пр}} Z_{\text{п}} a_{\text{п.р}} a_{\text{р}} a_1 \sqrt{u}}{1000 \sqrt{\pi} k_{\text{т}} A_{\text{эмакс}}}. \quad (11)$$

Установив параметры режима работы лесопильной рамы, по ее нормовой энергетической характеристике можно определить удельный расход энергии, соответствующий этому режиму. Если по условиям производства нельзя зафиксировать часовую производительность лесопильной рамы на определенном уровне, то следует предусмотреть возможность небольших ее колебаний относительно среднего уровня. В этом случае нормовая характеристика позволит установить соответствующий диапазон возможных колебаний среднего удельного расхода энергии, оценив который можно задать норму удельного расхода по среднему значению.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агеев, С.П. Режимы электропотребления окорочных станков [Текст] / С.П. Агеев // Лесн. журн. – 2007. – № 4. – С. 104–111. – (Изв. высш. учеб. заведений).

2. *Агеев, С.П.* Энергетическая характеристика механизма резания лесопильной рамы [Текст] / С.П. Агеев // Лесн. журн. – 2009. – № 1. – С. 95–100. – (Изв. высш. учеб. заведений).

3. *Агеев, С.П.* Энергетическая характеристика электропривода механизма резания лесопильной рамы [Текст] / С.П. Агеев // Лесн. журн. – 2009. – № 2. – С. 96–101. – (Изв. высш. учеб. заведений).

4. *Гофман, И.В.* Нормирование потребления энергии и энергетические балансы промышленных предприятий [Текст] / И.В. Гофман. – М.; Л.: Энергия, 1966. – 315 с.

5. *Песоцкий, А.Н.* Лесопильное производство [Текст] / А.Н. Песоцкий. – Л.: Лесн. пром-сть, 1973. – 325 с.

6. *Рыкунин, С.Н.* Технология лесопильно-деревообрабатывающих производств: учебное пособие для студентов [Текст] / С.Н. Рыкунин, Ю.П. Тюкина, В.С. Шалаев. – М.: МГУЛ, 2003. – 225 с.

Поступила 15.04.08

*S.P. Ageev*

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

#### **Classification and Properties of Energy Characteristics for Saw Frames**

Graphing and analysis of energy characteristics for saw frames are realized depending on their load change of and usage time in the operational cycle.

Keywords: power consumption, electric power, specific power consumption, energy loss, efficiency, energy characteristic, operational cycle.

---



## ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 676.017.42

*В.И. Комаров, Е.Ю. Ларина*

Архангельский государственный технический университет

Комаров Валерий Иванович родился в 1946 г., окончил в 1969 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии целлюлозно-бумажного производства Архангельского государственного технического университета, заслуженный деятель науки РФ, почетный работник высшего профессионального образования РФ, член международного научного общества EUROMECH. Имеет более 400 печатных работ в области исследования свойств деформативности и прочности целлюлозно-бумажных материалов.

Тел.: (8182) 21-61-82



Ларина Екатерина Юрьевна родилась в 1982 г., окончила в 2006 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры целлюлозно-бумажного производства Архангельского государственного технического университета. Имеет 2 печатные работы в области целлюлозно-бумажного производства.

Тел.: (8182) 65-00-92



### **РАСЧЕТ ЖЕСТКОСТИ ПРИ ИЗГИБЕ ВОЛОКНИСТЫХ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНЫХ МАТЕРИАЛОВ С УЧЕТОМ ПЛАСТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ В СЖАТОЙ ЗОНЕ В ПЛОСКОСТИ ЛИСТА**

Показана возможность расчета деформаций волокнистых целлюлозно-бумажных материалов при испытании на изгиб с учетом пластической составляющей.

*Ключевые слова:* жесткость при изгибе, модуль упругости, пластическая деформация.

При испытании образцов бумаги и картона на жесткость при изгибе с использованием статических методов, которые имитируют реальные условия переработки и применения этих материалов, наряду с упругими проявляются и пластические деформации. Эта проблема обсуждается с середины прошлого века [5, 6], но так и не был создан метод для количественной оценки влияния пластической деформации данных материалов в процессе испытаний на жесткость при изгибе. В работах [1–3] была предложена гипотеза деформирования при изгибе волокнистых целлюлозно-бумажных материалов, позволяющая рассчитать толщину слоя, в сжатой зоне которого возникает неустойчивость структурных элементов, приводящая к увеличению деформации, т.е. снижению жесткости.

Необходимо отметить, что наряду с пластическими деформациями, возникающими в структуре волокнистых целлюлозно-бумажных материалов по толщине листа при изгибе, появляются пластические деформации и в

плоскости листа. Если попытка хотя бы опосредованно оценить устойчивость волокна в зоне сжатия материала при изгибе существует (стандартизованный метод SCT (short compression test), характеризующий сопротивление сжатию короткого участка образца материала), то методик, позволяющих оценить пластические деформации в плоскости листа при изгибе бумаги или картона, нами не обнаружено. В работе [4] для слоистых пластиков предложена методика определения увеличения деформации за счет пластической составляющей в плоскости образца при изгибе. В этом случае для получения действительной деформации за пределами упругой работы необходимо использовать приведенный момент, который имеет большую, чем действительный момент от приложенной нагрузки, величину.

Гипотетический изгибающийся момент (кН·м) может быть выражен уравнением

$$(M_x)_\phi = \frac{4(\sigma_{сж} W)^3}{(3\sigma_{сж} W - M_x)^2} = \frac{4\sigma_{сж} W}{\left(3 - \frac{M_x}{\sigma_{сж} W}\right)^2}, \quad (1)$$

где  $\sigma_{сж}$  – напряжение сжатия короткого участка образца, МПа;

$W$  – момент сопротивления поперечного сечения образца, м<sup>3</sup>;

$M_x$  – действительный изгибающий момент, кН·м.

Цель данной работы – установить возможность использования уравнения (1) при испытаниях волокнистых целлюлозно-бумажных материалов (в первую очередь бумаги и картона).

На практике жесткость при изгибе целлюлозно-бумажных материалов часто оценивают графоаналитическим методом при испытании консольно закрепленного образца (рис. 1).

Определим деформации в любой момент времени  $t = t_{сж}$  при изгибе консольно закрепленного образца сосредоточенной силой  $P$ , приложенной на конце консоли [4].

Изгибающий момент в любом сечении

$$M_x = -Px. \quad (2)$$

Определим границу между участками образца с упругой и упругопластической деформациями. Для этого на расстоянии  $x$  (момент  $M = \sigma_{сж} W$ ) параллельно базе эпюры моментов проводим линию, которая пересекает эту эпюру на две части. Приравнивая значения моментов, находим

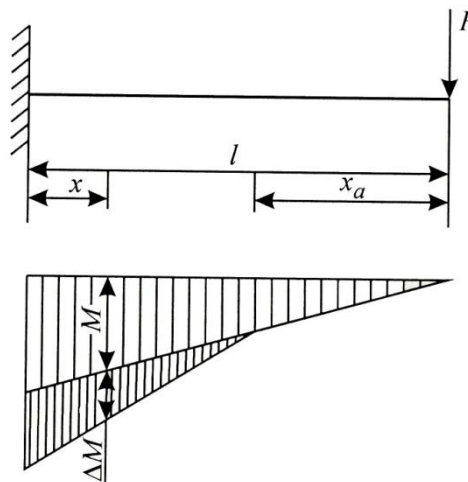


Рис. 1. Схема для определения деформаций графоаналитическим способом

$$x_a = \frac{\sigma_{сж} W}{P}. \quad (3)$$

На участке стержня от  $x = x_a$  до  $x = l$  к действительному моменту от внешних сил  $M_x$  вследствие образования пластических деформаций прибавляется приращение изгибающего момента:

$$(\Delta M_t)_x = (M_\phi)_t + Px = 4\sigma_{сж} W / \{3 - Px/(\sigma_{сж} W)\}^2 + Px. \quad (4)$$

Приведенный момент в сечении  $x$  с изменением интервала времени от  $t = t_{сж}$  до  $t \rightarrow \infty$  изменяется по экспоненциальному закону, так как напряжение  $\sigma_{сж}$  тоже связано со временем.

Угол поворота в любом сечении на расстоянии  $x > x_a$  в любой интервал времени  $t$

$$(\Theta_t)_x = -\frac{3(\sigma_{сж} W)^2}{2PEI} \left[ 1 - \frac{8\sigma_{сж} W}{3(3\sigma_{сж} W - P_x)} \right]. \quad (5)$$

Прогиб в любом сечении  $(f_t)_x$  на расстоянии  $x > x_a$  в момент времени  $t$  равен гипотетическому изгибающему моменту  $M_x^\phi$  в сечении  $x$  от гипотетической нагрузки  $E_t I$ :

$$(f_t)_x = \frac{M_x^\phi}{E_t I}, \quad (6)$$

т.е. прогиб в любом сечении на расстоянии  $x > x_a$

$$(f_t)_x = \frac{F_x x_c}{E_t I}. \quad (7)$$

Находим

$$F_x x_c = \int_0^{x_a} Px^2 dx + \int_{x_a}^x \frac{4\sigma_{сж} W_x}{\left(3 - \frac{Px}{\sigma_{сж} W}\right)} dx. \quad (8)$$

Интегрируем выражение для  $F_x x_c$  и подставляем в выражение (9):

$$(f_t)_x = \frac{4(\sigma_{сж} W)^3}{P^2 E_t I} \left( \frac{13}{12} - \frac{Px}{\sigma_{сж} W} + 3 \ln \frac{2}{3 - \frac{Px}{\sigma_{сж} W}} \right). \quad (9)$$

Для эксперимента изготавливали отливки, имеющие массу 1 м<sup>2</sup> 100 г и степень помола (СП) 18, 24 и 35° ШР. Исходная масса в зависимости от условий технологического процесса имела степень помола 14...16° ШР.

Испытание образцов на жесткость при изгибе проводили на приборе «Messmer Buchel 116-BD»; угол изгиба составлял 7,5°.

Результаты расчета жесткости и модуля упругости при изгибе с использованием традиционных уравнений и уравнений, учитывающих пластическую деформацию, приведены в таблице и на рис. 2. Обнаружена разница между этими величинами.

**Жесткость при изгибе полуфабрикатов, используемых при производстве флютинга**

Образец	СП, °ШР	$\delta$ , мкм	$EI$ , мН·см <sup>2</sup>	$E_{изг}$	$\sigma_{сж}$	$E_{сж}$	$\frac{EI^T}{EI}$ 100, %
				МПа			
ЦВВ без пропитки	14	169	122,7	2029	11,6	1183	77,2
			158,8	2633	23,5	2391	
	18	128	93,6	3607	34,0	2433	82,9
			112,9	4357	55,0	3932	
24	120	85,7	3970	40,6	2861	87,9	
		97,5	4520	56,2	3961		
НСПЦ	35	114	81,2	4445	45,3	3068	84,9
			95,6	5232	68,5	4644	
	16	197	132,9	1384	5,6	865	99,7
			133,2	1395	5,8	887	
18	169	128,1	2129	10,1	1263	98,6	
		129,7	2160	10,5	1323		
24	143	107,9	2938	16,5	1818	98,9	
		109,1	2967	17,1	1875		
35	130	86,9	3202	24,2	2302	92,6	
		93,8	3405	28,5	2709		

Примечание. В числителе приведены данные с учетом пластических деформаций, в знаменателе – без учета.

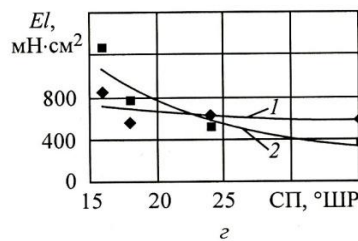
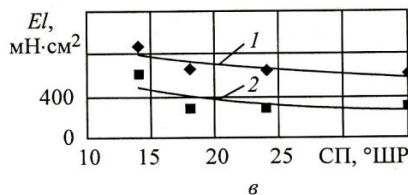
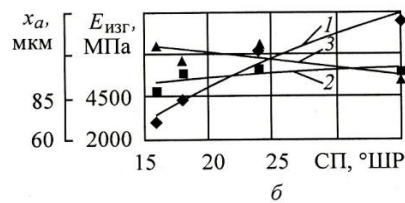
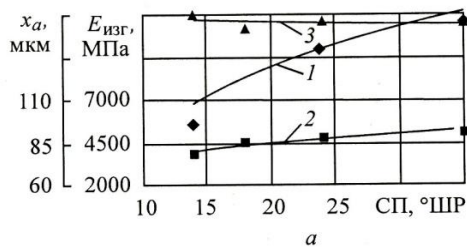


Рис. 2. Модуль упругости (а, б) и жесткость (в, г) при изгибе образцов ЦВВ без пропитки (а, в) и НСПЦ (б, г): 1 – без учета пластических деформаций; 2 – с учетом; 3 –  $x_a$  (см. рис. 1)

*Выводы.*

1. Экспериментально подтверждена возможность использования математического аппарата, разработанного для упругопластических материалов, испытываемых на изгиб, для оценки предельного состояния в зоне сжатия при изгибе в случае испытания целлюлозно-бумажных материалов.

2. Показана возможность использования треугольно-трапецидальной эпюры для расчета слоя структуры материала, в котором возникает предельное состояние.

3. Обнаружено, что значения жесткости и модуля упругости при изгибе, вычисленные по уравнениям для упругих материалов, несколько завышены по сравнению с полученными по уравнениям, учитывающим влияние пластических деформаций. Разность между ними будет тем больше, чем выше доля пластической деформации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Белянкин, Ф.П.* Пластические деформации дерева при изгибе [Текст] / В.Ф. Белянкин // Тр. 1-й Всесоз. конф. по прочности авиаконструкций. – 1936.

2. *Комаров, В.И.* Деформативность целлюлозно-бумажных материалов при изгибе [Текст] / В.И. Комаров // Лесн. журн. – 1994. – № 1. – С. 86–91. – (Изв. высш. учеб. заведений).

3. *Комаров, В.И.* Деформация и разрушение волокнистых целлюлозно-бумажных материалов [Текст] / В.И. Комаров. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2002. – 440 с.

4. *Яценко, В.Ф.* Прочность и ползучесть слоистых пластиков [Текст] / В.Ф. Яценко. – К.: Наук. думка, 1966. – 204 с.

5. *Brecht, W.* [Text] // Paiperfabricant. – 1940. – Vol. 38. – S.17.

6. *Brecht, W.* Über die Steifigkeitsprüfung von Papier, Karton und Papen [Text] / W. Brecht, F. Muller // Das Papier. – 1960. – Vol. 14. – S. 7–9.

Поступила 18.02.09

*V.I. Komarov, E.Yu. Larina*  
Arkhangelsk State Technical University

**Hardness Calculation in Bending Fiber Pulp-and-Paper Materials Considering Plastic Deformations in Sheet Plane**

Possibility of calculating deformations of fiber pulp-and-paper materials in bending test considering plastic constituent is demonstrated

Keywords: hardness in bending, coefficient of elasticity, plastic deformation.

---



УДК 676.017.1

**В.Н. Леонтьев**

С.-Петербургский государственный технологический университет  
растительных полимеров

Леонтьев Владимир Николаевич родился в 1944 г., окончил в 1967 г. Ленинградский механический институт, профессор кафедры информационно-измерительных технологий и систем управления С.-Петербургского государственного технологического университета растительных полимеров. Имеет более 120 работ в области исследования влияния качества бумажного материала на качество печати.  
E-mail: vleo58@mail.ru



### **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОИЗВОДСТВА БУМАГИ НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ПЕЧАТИ\***

Получены модели влияния параметров процесса производства бумаги на показатели качества печати, на основе которых даны рекомендации по выбору параметров, обеспечивающих необходимые печатные свойства бумаги.

*Ключевые слова:* параметры процесса производства бумаги, показатели качества печати, системный подход, модель.

В условиях появления новых видов печати и оборудования, резкого увеличения доли цветной иллюстративной компоненты в печатных изданиях, повышения требований к качеству печати традиционно сложившиеся отношения бумажников и печатников уже не способны обеспечивать конкурентоспособность как печатной продукции, так и бумаги. Ориентация лишь на показатели свойств бумаги не позволяет прогнозировать качество печати конкретного заказа на конкретном оборудовании, конкретными красками.

Решить проблему возможно, если применить системный подход и рассматривать формирование печатных свойств бумаги как задачу управления системой, основным конечным результатом которой являются показатели качества печати, а объектом регулирования – комплекс, состоящий из бумагоделательной (БДМ) и печатной машин. При этом к управляющим, подлежащим выбору, отнесены параметры процесса производства бумаги [4].

Для того чтобы убедиться в эффективности предлагаемого подхода к выбору и совершенствованию печатных свойств было исследовано влияние параметров процесса производства бумаги на качество печати в целях получения моделей такого влияния.

Качество печати оценивали с помощью принятых в полиграфии показателей: градационная передача –  $n$ , контраст печати –  $K$ , оптическая плотность сплошного красочного слоя –  $D$ , площадь цветового охвата на плоскости  $a^* b^* - S_{col}$ , объем цветового охвата в пространстве  $L^* a^* b^* - V_{col}$ .

\* В порядке обсуждения.

Данные показатели оцениваются полиграфистами по специально печатаемым так называемым тест-объектам [1–3].

Для анализа влияния параметров процесса производства бумаги на перечисленные показатели качества были рассмотрены образцы офсетной бумаги марки С Светогорского целлюлозно-бумажного комбината (масса  $1 \text{ м}^2 - 85 \text{ г}$ ). Тест-объекты печатали на струйном принтере HP Desk Jet 1125 с разрешением 25 лин./мм (600 dpi). Показатели качества печати оценивали с помощью спектрофотометра «Spectro Scan Gretag Macbeth».

Статистический анализ полученных результатов был осуществлен поэтапно. На первом этапе был применен метод Розенбрука [1] для оценки нелинейных зависимостей между параметрами с помощью функций регрессии, состоящих из двух участков прямых, разделенных точками разрыва; на втором этапе – метод множественной регрессии, позволивший для каждого участка определить коэффициенты уравнений регрессии и оценить их значимость на 5 %-м уровне.

В качестве параметров процесса производства бумаги были рассмотрены следующие: процентное содержание хвойной целлюлозы ( $L_{hv}$ ) и брака ( $Brak$ ) в композиции; расход крахмала в массе ( $KrV$ ); расход алкилкетендимера ( $AKD$ ); расход бентонита ( $Ben$ ) и перкола ( $Per$ ) – двойной полимерной системы для удержания мелочи и наполнителя; расход крахмала, подаваемого на клейильный пресс ( $KrC$ ); расход наполнителя ( $Napol$ ); степень помола ( $Shp$ ) и концентрация массы в напорном ящике ( $C$ ); мощность мельниц ( $N$ ); удержание наполнителя ( $Ud Nap$ ); pH ( $PH$ ) и зольность ( $Zol$ ). Скорость БДМ ( $V$ ) и соотношение скоростей сетки/напуска ( $V_1/V_2$ ) в процессе эксперимента оставались постоянными.

В табл. 1, 2 приведены минимальные, максимальные и средние значения параметров процесса, а также коэффициенты вариации для рассматриваемых переменных, в табл. 3 – результаты статистического анализа для всех рассматриваемых показателей качества печати ( $\beta$ -коэффициенты уравнений регрессии для каждого из двух участков аппроксимируемых данных рассчитывали по стандартизованным значениям переменных).

Таблица 1

Статистические значения показателей качества печати

Показатель качества	Значение показателя				Коэффициент вариации, %
	минимальное	среднее	в точках разрыва	максимальное	
$K$	0,10	0,15	0,15	0,29	127
$D_{100}$	0,907	0,997	0,997	1,330	42
$n$	71	78	78	85	18
$V_{col}$	176 020	181 486	181 433	186 040	6
$S_{col}$	7 948	8 121	8 116	8 278	4



Таблица 3

**Значение  $\beta$ -коэффициентов линейных регрессионных уравнений  
на линейных участках до (числитель) и после (знаменатель) точек разрыва  
для показателей качества печати**

Параметр процесса	$K$	$D_{100}$	$n$	$V_{col}$	$S_{col}$
<i>AKD</i>	0,22/–	<b>0,42/-0,53</b>	–	–	0,21/–
<i>Brak</i>	<b>0,59/–</b>	–	–/–0,41	<b>-0,60/–</b>	<b>-0,54/–</b>
<i>KrC</i>	0,22/–	–	–/– <b>0,57</b>	–/–0,59	–
<i>Ben</i>	<b>–/0,53</b>	–/0,43	–/0,45	<b>-0,59/0,97</b>	–0,34/0,43
<i>Per</i>	<b>0,26/-0,60</b>	<b>0,31/-0,61</b>	<b>0,96/–</b>	0,36/–	<b>–/0,65</b>
<i>N</i>	–	<b>-0,53/–0,42</b>	0,63/–	–	–
<i>L<sub>hv</sub></i>	<b>–/0,45</b>	–0,27/–	–	–	–
<i>KrV</i>	–0,27/–	<b>–/0,60</b>	<b>-0,98/–</b>	0,30/–	0,34/–
<i>Shp</i>	0,31/–	–/0,27	–/–0,42	–	–
<i>Napol</i>	<b>0,47/–</b>	<b>0,39/–</b>	<b>0,67/-0,63</b>	–/0,37	–
<i>Ud Nap</i>	–	–	–	–	–/0,19
<i>C</i>	–	–	–	<b>-0,35/0,94</b>	<b>–/–0,78</b>
<i>Ph</i>	–/0,22	–	<b>0,87/–</b>	<b>0,62/–0,62</b>	<b>–/–0,62</b>
<i>Zol</i>	–	<b>–/0,50</b>	<b>-0,66/0,61</b>	–/0,58	<b>–/–0,68</b>
<i>R</i>	0,87/0,92	0,80/0,90	0,80/0,86	0,93/0,91	0,89/0,85

Примечания. 1. Наиболее значимые коэффициенты для показателей качества бумаги выделены жирным, исходя из того, что их значимость признается, если они различаются более чем в 1,3–1,5 раза. 2.  $R$  – коэффициент корреляции.

По величине  $\beta$ -коэффициентов оценивали значимость факторных признаков (параметров процесса производства бумаги) для результирующих признаков (показателей качества печати). Чем больше любой из исследуемых показателей качества печати, тем лучше печатные свойства бумаги.

Показатели качества печати в табл. 3 расположены слева направо по мере убывания их коэффициентов вариации, а параметры процесса производства бумаги по тому же принципу, но сверху вниз.

Из данных табл. 3 следует, что влияние параметров производства бумаги на показатели качества печати носит нелинейный характер. На это указывают не только различные значения  $\beta$ -коэффициентов для участков до и после точек разрыва, но и их знак.

Высокие коэффициенты корреляции ( $R > 0,80$ ) свидетельствуют о значимости полученных зависимостей.

Необходимо отметить, что для всех параметров процесса производства бумаги точки разрыва аппроксимирующих участков линий регрессии лежат в области их средних значений. Это позволяет сформулировать рекомендации по выбору данных параметров для обеспечения требуемых показателей качества печати.

Из полученных данных следует, что наибольшее влияние оказывают изменения параметров процесса получения бумаги на контраст печати, оптическую плотность сплошного красочного слоя, в меньшей мере – на показатель градационной передачи. С практической точки зрения они мало

вливают на объем цветового охвата в пространстве и площадь цветового охвата на плоскости.

Большой разброс значений  $K$  и  $D_{100}$  нежелателен и обусловлен необоснованно большими изменениями экспериментальных данных: расхода  $AKD$ , крахмала для поверхностной проклейки, бентонита, перкола, наполнителя, мощности привода мельниц, содержания брака в хвойной целлюлозе, крахмала для проклейки в массе и степени помола.

Сформулируем практические рекомендации по улучшению печатных свойств бумаги:

расход  $AKD$  следует держать в области средних значений, как и брак, поскольку увеличение последнего не скажется на показателе градационной передачи и оптической плотности;

количество бентонита можно повышать, поскольку это приводит к улучшению контраста;

количество перкола следует выбирать в области его средних значений, при которых показатели градационной передачи и оптической плотности будут иметь максимальные значения при других фиксированных параметрах процесса производства бумаги;

содержание хвойной целлюлозы можно увеличивать в случае необходимости повышать контраст печати;

расход наполнителя необходимо выбирать из области его средних значений, что позволит достигать, при прочих равных условиях, возможно большего контраста печати.

Высокие коэффициенты корреляции между параметрами процесса производства бумаги и показателями качества печати открывают широкие возможности совершенствования печатных свойств бумаг с учетом особенностей конечной печатной продукции, в то время как оперирование промежуточными параметрами (показателями качества бумаги) такой возможности до сих пор не предоставляло.

Поскольку обеспечить одновременно наилучшие значения показателей качества печати нереально, то выбор каждого из параметров процесса производства бумаги в качестве управляющего должен быть сделан с позиции приоритета одних перед другими. Этот приоритет зависит от конкретного вида печатной продукции: или это сюжет с мелкими деталями, или с большими площадями растровых полей.

Насколько стабильно ведут себя экспериментальные образцы бумаги в печати, свидетельствуют данные, представленные в табл. 1, 2. Здесь коэффициенты вариации, выраженные в процентах, определяли как отношение диапазонов изменения параметров процесса производства бумаги и показателей качества печати к их средним значениям.

Необходимо заметить, что бумага, подвергнутая исследованию, соответствовала предъявляемым к ней требованиям по белизне, влажности, массе  $1 \text{ м}^2$  и т.п. Однако, как следует из табл. 1, 2, она оказалась весьма нестабильной по таким показателям качества печати, как контраст (127 %),

оптическая плотность сплошного красочного слоя (42 %), показатель градиционной передачи (18 %). Такая нестабильность – причина многих дефектов печати: разнооттеночности оттисков, потери тона в полутонах и тенях и т.п.

Из полученных данных можно сделать вывод о том, что управлять потенциальными печатными свойствами бумаги, основываясь лишь на традиционных показателях качества бумаги, без информации о показателях качества оттисков неэффективно.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Боровиков, В.П.* STATISTICA – Статистический анализ и обработка данных в среде Windows [Текст] / В.П. Боровиков, И.П. Боровиков. – М.: Информ.-издат. дом «Филинь», 1997. – 608 с.
2. *Кузнецов, Ю.В.* Технология обработки изобразительной информации [Текст] / Ю.В. Кузнецов. – СПб.: Петербургский ин-т печати, 2002. – 312 с.
3. *Barber, C.B.* The quickhull algorithm for convex Hulls [Text] / C.B. Barber, D.P. Dobkin, H.T. Huhdanpaa // ACM Transactions on Mathematical Software. – Vol. 22, N4. – P.469–483.
4. *Leontiev, V.N.* The systems approach to control paper printability [Text] / V.N. Leontiev // Trans. the international conf. «Printing Technology SPb. 06», Spb. 2006. – P. 114–120.

Поступила 13.05.09

*V.N. Leontiev*

Saint-Petersburg State Technological University of Plant Polymers

#### **Evaluation of Technological Parameters of Paper Production on Printing Quality Characteristics**

Keywords: parameters of paper production process, printing quality characteristics, system approach, model.

---

Статистические значения параметров производства бумаги

Параметр процесса	Значения параметра							Коэф- фициент вариации, %	
	минимальное	среднее	в точках разрыва для показателей качества						максимальное
			<i>K</i>	<i>D</i> <sub>100</sub>	<i>n</i>	<i>V</i> <sub>col</sub>	<i>S</i> <sub>col</sub>		
<i>AKD</i> , кг/т	0,15	1,43	1,40	<b>1,42</b>	1,50	1,53	1,50	1,68	107
<i>Brak</i> , %	10	20	<b>25</b>	<b>22</b>	18	<b>19</b>	<b>21</b>	30	102
<i>KrC</i> , кг/т	17,5	19,7	19,5	19,4	<b>20,1</b>	21,1	19,7	30,0	64
<i>Ben</i> , кг/т	1,10	1,60	<b>1,70</b>	1,70	1,50	<b>1,50</b>	1,45	2,10	61
<i>Per</i> , кг/т	0,10	0,15	<b>0,16</b>	<b>0,16</b>	<b>0,15</b>	0,16	<b>0,15</b>	0,19	60
<i>N</i> , кВт/ч	4,0	4,6	4,1	<b>5,2</b>	5,0	4,7	4,8	6,3	50
<i>L</i> <sub>hv</sub> , %	25	32	<b>32</b>	30	33	30	31	40	47
<i>KrV</i> , кг/т	5,70	6,80	6,45	<b>6,80</b>	<b>6,80</b>	6,95	6,80	7,80	31
<i>Shp</i> , °ШП	24,0	27,0	28,0	27,0	27,5	27,0	27,0	31,5	27
<i>Napol</i> , кг/т	181	140	<b>193</b>	<b>182</b>	<b>191</b>	179	184	219	27
<i>Ud Nap</i> , %	65	69	68	69	70	68	68	77	17
<i>C</i> , %	0,80	0,88	0,87	0,90	0,89	<b>0,88</b>	<b>0,89</b>	0,95	15
<i>PH</i>	8,3	8,5	8,7	8,5	<b>8,5</b>	<b>8,5</b>	<b>8,5</b>	9,0	8
<i>Zol</i> , %	21	22	22	<b>22</b>	<b>22</b>	22	<b>22</b>	23	6

Примечание. Жирным выделены параметры процесса производства бумаги, оказывающие значащее влияние на показатели качества печати.

УДК 634.0.867

*А.Н. Грачев, Р.Г. Сафин, Р. Г. Хисматов, А.А. Макаров*

Казанский государственный технологический университет

Грачев Андрей Николаевич родился в 1979 г., окончил в 2001 г. Казанский государственный технологический университет, кандидат технических наук, докторант кафедры переработки древесных материалов КазГТУ. Имеет более 60 печатных работ в области тепломассообмена, быстрого пиролиза, газификации, энергетического использования биомассы.

E-mail: [andri@hitv.ru](mailto:andri@hitv.ru)



Сафин Рушан Гареевич родился в 1950 г., окончил в 1973 г. Казанский химико-технологический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой переработки древесных материалов Казанского государственного технологического университета. Имеет более 200 печатных работ в области исследований тепломассообменных процессов, разработки технологических процессов, протекающих при понижении давления, энергосберегающих, безотходных технологий и оборудования.

E-mail: [andri@hitv.ru](mailto:andri@hitv.ru)



Хисматов Рустам Габдулнурович родился в 1985 г., окончил в 2007 г. Казанский государственный технологический университет, аспирант кафедры переработки древесных материалов КазГТУ. Имеет 5 печатных работ в области исследования процесса быстрого абляционного пиролиза древесины.

E-mail: [xp8519@rambler.ru](mailto:xp8519@rambler.ru)



Макаров Александр Александрович родился в 1986 г., студент Казанского государственного технологического университета. Область научных интересов: исследование процесса быстрого абляционного пиролиза древесины.

E-mail: [makar3325@rambler.ru](mailto:makar3325@rambler.ru)

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СКОРОСТИ УБЫЛИ МАССЫ ДРЕВЕСИНЫ В ПРОЦЕССЕ БЫСТРОГО АБЛЯЦИОННОГО ПИРОЛИЗА \***

Исследована скорость убыли массы древесины в процессе быстрого абляционного пиролиза древесины; определены зависимости скорости контактного абляционного пиролиза древесины сосны от температуры, силы и скорости механического воздействия на образец.

*Ключевые слова:* быстрый абляционный пиролиз, экспериментальные исследования, скорость убыли массы.

В настоящее время в связи с ростом цен на ископаемые энергоресурсы получение энергии из биомассы является одним из наиболее динамично развивающихся направлений для многих стран мира. Наряду с сжиганием и газификацией, быстрый пиролиз – перспективная и наименее проработанная

---

\* Исследования выполнены при содействии гранта Президента РФ для поддержки молодых российских ученых № МК-5209.2007.8.



технология энергетического использования биомассы [1]. Она позволяет обеспечить термохимическую переработку до 80 % исходной массы древесины в жидкие продукты [2], которые вызывают большой интерес вследствие высокой энергетической плотности и возможности их использования в качестве жидкого топлива [9].

Процесс быстрого пиролиза заключается в термическом разложении органических соединений биомассы в отсутствие окислителя, при относительно низких температурах (450...550 °С), высокой скорости нагрева (500...1000 °С/с) и незначительном времени пребывания продуктов в реакционном пространстве (до 2...3 с) [9]. В результате этого образуются углистый остаток и парогазовая смесь, которую впоследствии разделяют на жидкие продукты и неконденсируемый газ. В большинстве случаев для обеспечения требуемых режимных параметров процесса и высокого выхода жидких продуктов необходимо измельчать исходное сырье до минимальных (1...2 мм) размеров, что сопряжено с дополнительными затратами.

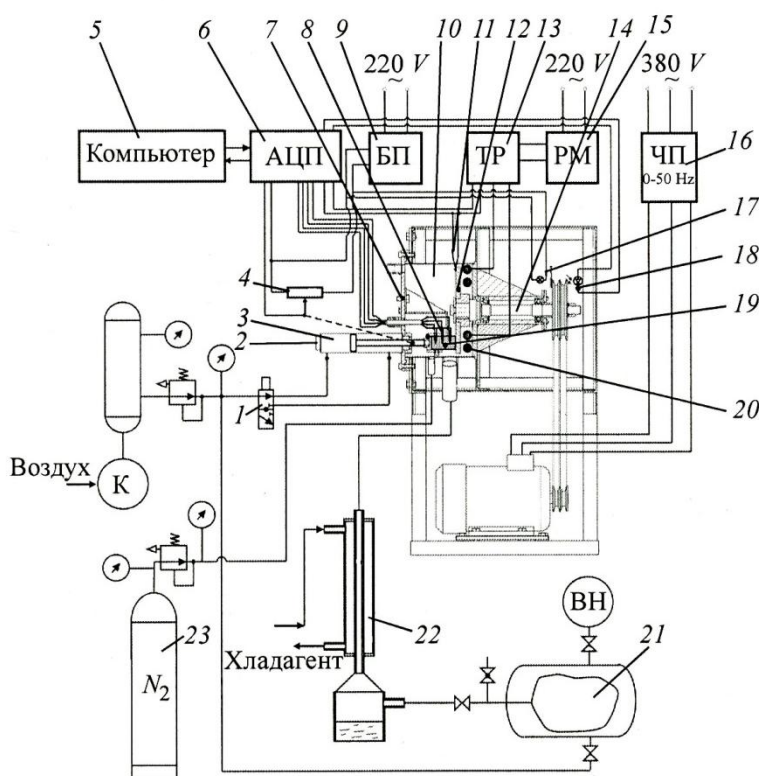


Рис. 1. Схема экспериментального стенда для исследования быстрого абляционного пиролиза

Высокий выход жидких продуктов пиролиза из исходного сырья большего размера (более 10 мм) можно получить при пиролизе древесины в

абляционном режиме [4]. В случае абляционного быстрого пиролиза происходит механическое удаление (унос) прореагировавшего продукта, что приводит к интенсификации процесса за счет снижения термического и диффузионного сопротивления [5]. Практический интерес представляет кинетика быстрого абляционного пиролиза [5–7].

Цель нашей работы – определить зависимости изменения скорости абляции при быстром механоактивированном пиролизе древесины сосны от температуры процесса, скорости и силы механического воздействия на зону термического разложения.

Экспериментальные исследования кинетики процесса быстрого абляционного пиролиза древесины осуществляли на стенде, схема которого представлена на рис. 1. Экспериментальный стенд включает: реакционную камеру 10, систему пневматической подачи образца, систему управления и регистрации данных, конденсатор 22, газгольдер 21 и баллон с инертным газом 23. Реакционная камера содержит вращающийся в вертикальной плоскости на валу 14 диск 12. Параллельно поверхности диска в реакционной камере установлен трубчатый электронагреватель 20. Герметизация реакционной камеры осуществляется крышкой 7, состоящей из держателя образца 3, выводов для проводов измерительных устройств, потенциометра 4 и пневмоцилиндра 2. Испытуемый образец 19 закрепляют в держателе. Перемещение держателя и создание заданного контактного усилия на его поверхности осуществляется с помощью системы пневматической подачи образца. Система управления и регистрации данных включает: частотный преобразователь 16, регулятор мощности 15, терморегулятор 13, блок питания 9, аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) 6, компьютер 5, термоэлектрические преобразователи (термопары) 8 и 11, потенциометр, фото- 18 и светодиоды 17. Фиксацию экспериментальных данных осуществляют в дискретном режиме с помощью АЦП, который работает под управлением программного обеспечения компьютера. Полученные данные сохраняются в базе данных компьютера. Дальнейшая обработка сохраненных экспериментальных данных позволяет сделать заключение об изменении режимных параметров процесса во времени. Зависимость линейного перемещения испытуемого образца во времени, как и изменение его размеров, фиксируется изменением разности потенциалов на контактах потенциометра. Регистрация мгновенных значений частоты вращения диска обеспечивается подключением к АЦП фотодиода, который освещается светодиодом.

Варьируемые в ходе исследований факторы – температура диска, давление в нагнетательной камере пневмоцилиндра и частота вращения диска. В ходе исследований температуру диска изменяли в диапазоне 450...700 °С, давление – от 2 до 5 атм. Значение удельного давления в зоне термического разложения образца  $P_{обр}$  определяли с помощью уравнения

$$P_{обр} = \frac{P_{пн} S_{пн}}{S_{обр}},$$

где  $P_{пн}$  – давление сжатого воздуха в нагнетательной линии пневмо-

цилиндра, атм;

$S_{\text{пн}}$  и  $S_{\text{обр}}$  – площадь поршня пневмоцилиндра и поперечного сечения образца,  $\text{м}^2$ .

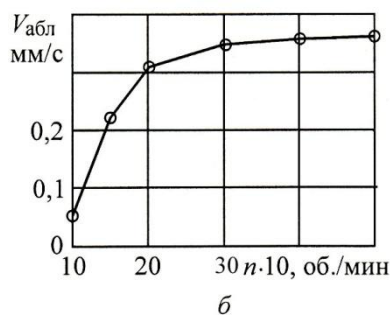
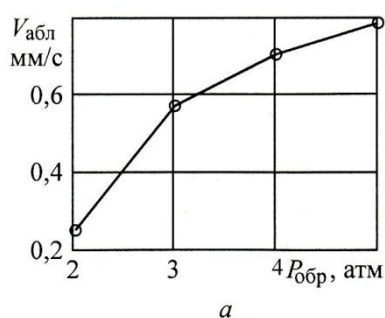
Частоту вращения диска  $n$  предварительно устанавливали с помощью частотного преобразователя в диапазоне 100...500 об./мин, в ходе обработки полученных данных ее уточняли. При этом средняя линейная скорость смещения диска относительно образца  $v$  (м/с) в зависимости от  $n$  (об./мин)

$$v = \frac{2\pi n R}{60},$$

где  $R$  – расстояние от оси диска до центра сечения образца, м.

Эксперимент осуществляли следующим образом. В течение 30 мин электронагревателем прогревали реакционную камеру до достижения стационарного режима при заданной температуре диска. В ходе прогрева реакционной камеры, чтобы исключить перегрев крышки, на ее место устанавливали теплоизолированную заглушку. Предварительно подготовленный образец размерами 25×25×40 мм (абсолютная влажность 8 %) закрепляли в держателе с помощью затяжного винта. При достижении заданной температуры диска вместо теплоизолированной заглушки в реакционную камеру устанавливали крышку, обеспечивая герметизацию камеры. После герметизации реакционную камеру кратковременно продували инертным газом из баллона, включали электродвигатель при заданной частоте вращения диска, линию циркуляции хладагента конденсатора, АЦП в режиме сбора данных и устанавливали требуемое давление на линии нагнетания пневмоцилиндра. Эксперимент начинали после включения пневмораспределителя 1, при этом образец с заданным усилием подавали на вращающийся диск. Образующуюся в реакционной камере парогазовую смесь направляли в конденсатор, где происходил процесс конденсации паров, неконденсирующиеся газы – в газгольдер. Эксперимент заканчивали при достижении держателем образца поверхности диска путем прекращения подачи сжатого воздуха в нагнетательную камеру пневмоцилиндра. В ходе эксперимента данные с термомпар, потенциометра и фотодиода фиксировали АЦП и сохраняли в виде файлов в компьютере. В дальнейшем данные обрабатывали: селективно выделяли из общего массива интересующей области эксперимента, фильтруя и сглаживая их, дифференцировали значения и определяли линейную скорость абляционного пиролиза  $V_{\text{абл}}$ .

Результаты исследования представляли в виде графических зависимостей (рис. 2).



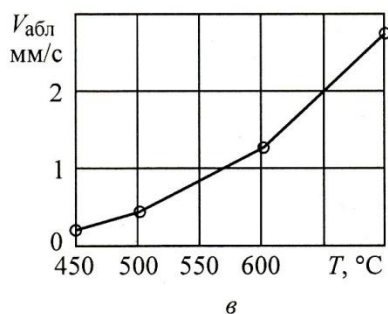


Рис. 2. Экспериментальные зависимости скорости абляционного пиролиза от давления (*a*), частоты вращения диска (*б*) и температуры (*в*)

Экспериментальные зависимости скорости абляционного пиролиза от давления получены в процессе пиролиза сосновых образцов при постоянных температуре (500 °C) и частоте вращения диска (180 об./мин). Как видно из рис. 2, *a*, увеличение давления оказывает значительное влияние на скорость процесса, что можно объяснить уплотнением зоны термического разложения, приводящим к росту коэффициента ее теплопроводности, улучшению условий эвакуации парогазовой смеси из зоны реакции путем выдавливания, более совершенному тепловому контакту на границе раздела фаз и выдавливанию готового продукта. Экспериментальная кривая скорости абляции в исследуемом диапазоне давлений показывает хорошее согласование со степенной функцией с незначительным снижением влияния давления на скорость пиролиза.

На рис. 2, *б* представлена экспериментальная зависимость скорости абляционного пиролиза от частоты вращения диска, полученная при постоянных значениях температуры диска (500 °C) и давления (2 атм). Как видно из данной зависимости, скорость абляционного пиролиза значительно увеличивается в диапазоне изменения частоты вращения диска до 220 об./мин, что соответствует средней линейной скорости смещения диска относительно образца 1,43 м/с. Дальнейшее увеличение частоты вращения диска приводит к стабилизации скорости абляционного пиролиза на уровне 0,35... 0,37 мм/с. Это можно объяснить наличием двух принципиально различных режимов абляционного пиролиза.

При низких частотах вращения диска (и низких скоростях смещения диска относительно образца) над зоной термического разложения образуется зона уплотненного готового продукта, которая приводит к значительному лимитированию скорости пиролиза. Поэтому при незначительном увеличении скорости смещения диска относительно образца происходит значительная интенсификация процесса вследствие механического сдвига и уноса зо-

ны готового продукта. При этом кривая абляции имеет вид степенной функции с показателем степени менее единицы.

В опытах, где скорость смещения диска относительно образца превышает 1,43 м/с, толщина зоны термического разложения минимальна (стремится к нулю), и процесс лимитируется кондуктивным подводом теплоты к зоне реакции, теплопроводностью древесины, скоростями реакций разложения и отвода продуктов. При этом скорость пиролиза с увеличением частоты вращения остается практически постоянной. Кривая абляции имеет линейный характер.

Из представленной на рис. 2, *в* зависимости скорости абляционного пиролиза от температуры диска видно, что температура оказывает значительное влияние на скорость пиролиза. Увеличение температуры, при прочих постоянных условиях, приводит к экспоненциальному увеличению скорости абляционного пиролиза, что соответствует закону химической кинетики. Однако следует отметить, что повышение температуры оказывает значительное влияние на состав образующихся продуктов. При повышении температуры доля неконденсирующихся газов значительно увеличивается с соответственным снижением доли жидких органических продуктов. Наибольший выход жидких продуктов отмечается в температурном диапазоне 460...530 °С [8].

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования позволили определить зависимость изменения скорости абляции при быстром механоактивированном пиролизе древесины сосны в зависимости от температуры процесса, скорости и силы механического воздействия на зону термического разложения. В связи с этим при определенных значениях температуры и давления существует оптимальное значение скорости механического воздействия.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грачев, А.Н. Биомассу – в жидкое топливо [Текст] / А.Н. Грачев, Р.Г. Сафин // Ресурсоэффективность в Республике Татарстан. – 2007. – № 1. – С.22–23.
2. Bridgwater, A.V. Renewable fuels and chemicals by thermal processing of biomass [Text] / A.V. Bridgwater // Chem. Eng. J. – 2003. – 91. – P. 87–102.
3. Czernik, S. Overview of applications of biomass fast pyrolysis oil [Text] / S. Czernik, A. Bridgwater // Energy Fuels. – 2004. – Vol. 18. – P. 590–98.
4. Fast pyrolysis of wood: direct measurement and study of ablation rate [Text] / J. Lédé [et al.] // Fuel. – 1985. – 64. – P. 1514–1520.
5. Fusion-like behaviour of wood pyrolysis [Text] / J. Lédé [et al.] // Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. – 2003. – Vol. 70, issue 2. – P. 601–618.
6. Meier, D. New ablative pyrolyser in operation in Germany [Text] / D. Meier, S. Schoell // PyNe Newsletter, Issue 17, April 2004.
7. Peacocke, G. Ablative plate pyrolysis of biomass for liquids [Text] / G. Peacocke, A. Bridgwater // Biomass and Bioenergy. – 1994. – Vol. 7, issues 1-6. – P. 147–154.
8. Polagye, B.L. Thermochemical conversion of forest thinning [Text] / B.L. Polagye. – P. 61–62.

---

9. Power generation using fast pyrolysis liquids from biomass [Text] / D. Chiaromonte [et al.] // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – Vol. 11, issue 6. – P. 1056–1086.

Поступила 01.06.09

*A.N. Grachev, R.G. Safin, R.G. Khismatov, A.A. Makarov*  
Kazan State Technical University

**Experimental Research of Rate of Wood Mass Decrease in Quick Ablative Pyrolysis**

The rate of wood mass decrease in the process of ablative wood pyrolysis is investigated. Dependencies of contact ablative pyrolysis of pine wood on temperature, force and rate of mechanical effect on the sample are determined.

Keywords: quick ablative pyrolysis, ablation, experimental research, mass decrease rate.

---

УДК 676.1.054.1

**Н.Г. Чистова, Ю.Д. Алашкевич**

Сибирский государственный технологический университет

Чистова Наталья Геральдовна родилась в 1962 г., окончила в 1984 г. Сибирский технологический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры лесоинженерного дела Сибирского государственного технологического университета. Имеет 130 печатных работ в области комплексного использования древесного сырья, переработки древесных отходов в производстве древесноволокнистых плит.  
E-mail: chistova@lfsibgtu.ru



Алашкевич Юрий Давыдович родился в 1940 г., окончил в 1964 г. Сибирский технологический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой машин и аппаратов промышленных технологий Сибирского государственного технологического университета. Имеет 370 научных работ в области технологии и оборудования химической переработки биомассы дерева, химии древесины.  
E-mail: mарт@sibstu.kts.ru



## **ПОДГОТОВКА ДРЕВЕСНОГО ВОЛОКНА В ПРОИЗВОДСТВЕ ДРЕВЕСНОВОЛОКНИСТЫХ ПЛИТ**

Дана оценка влияния конструктивных и технологических параметров размалывающих машин на свойства древесной массы в производстве древесноволокнистых плит. Установлено, что на размалывающих машинах, после определенного времени работы размалывающих сегментов, ротор истирается интенсивнее статора.

*Ключевые слова:* градус помола, концентрация древесноволокнистой масса, рафинатор, дефибратор, фракционный состав, износ гарнитуры, щепа, древесное волокно.

Россия имеет большое количество низкосортной древесины, которая служит сырьем для древесноволокнистых плит (ДВП). Одним из определяющих этапов данного производства является подготовка (размол) древесноволокнистых полуфабрикатов. Процесс размола древесины достаточно сложен, его природа изучена еще далеко не полностью. В обозримом будущем не придется ожидать появления исчерпывающих знаний о множестве явлений, происходящих с древесным волокном в размольной камере. Причем все эти явления в свою очередь зависят от совокупности конструктивных и технологических факторов размола, многие из которых взаимосвязаны.

Цель данной работы – изучить влияние геометрических параметров ячеек ротора и статора ножевых размалывающих машин на качество помола древесноволокнистой массы при межножевом зазоре  $z = 0,1$  мм в период работы между сменой гарнитуры: дефибратор (первая ступень) – 9 нед.; рафинатор (вторая ступень) – 23 нед. Результаты исследований представлены в табл. 1. Графические зависимости изменения геометрических размеров ножевой гарнитуры на дефибраторе и рафинаторе от срока ее эксплуатации приведены на рис. 1.

Таблица 1

Продолжительность работы гарнитуры, нед.	Ширина ячейки $L$ , мм	Высота ячейки $h$ , мм	$L/h$	Степень помола массы (ДС), °ШР
Дефибратор				
1	$\frac{13,0}{13,0}$	$\frac{12,0}{12,0}$	$\frac{1,08}{1,08}$	12,7
2	$\frac{13,0}{13,0}$	$\frac{11,8}{11,8}$	$\frac{1,10}{1,10}$	12,8
3	$\frac{13,0}{13,0}$	$\frac{11,5}{11,5}$	$\frac{1,13}{1,13}$	13,1
4	$\frac{13,0}{13,0}$	$\frac{11,0}{11,3}$	$\frac{1,18}{1,15}$	13,4
5	$\frac{13,0}{13,0}$	$\frac{10,0}{11,0}$	$\frac{1,30}{1,18}$	12,9
6	$\frac{13,0}{13,0}$	$\frac{9,0}{10,2}$	$\frac{1,40}{1,27}$	12,5
7	$\frac{13,0}{13,0}$	$\frac{8,0}{9,3}$	$\frac{1,63}{1,39}$	12,3
8	$\frac{13,0}{13,0}$	$\frac{7,0}{8,4}$	$\frac{1,85}{1,50}$	12,0
9	$\frac{13,0}{13,0}$	$\frac{6,0}{7,5}$	$\frac{2,16}{1,70}$	11,3
Рафинатор				
1	$\frac{10,0}{10,0}$	$\frac{10,0}{10,0}$	$\frac{1,00}{1,00}$	18,0
3	$\frac{10,0}{10,0}$	$\frac{9,8}{9,8}$	$\frac{1,02}{1,02}$	18,2
5	$\frac{10,0}{10,0}$	$\frac{9,5}{9,5}$	$\frac{1,05}{1,05}$	18,8
7	$\frac{10,0}{10,0}$	$\frac{8,0}{8,0}$	$\frac{1,25}{1,25}$	19,0
12	$\frac{10,0}{10,0}$	$\frac{7,0}{7,2}$	$\frac{1,40}{1,38}$	19,3
17	$\frac{10,0}{10,0}$	$\frac{6,0}{7,0}$	$\frac{1,60}{1,42}$	19,6
19	$\frac{10,0}{10,0}$	$\frac{5,0}{6,8}$	$\frac{2,00}{1,47}$	19,8
21	$\frac{10,0}{10,0}$	$\frac{4,5}{6,1}$	$\frac{2,20}{1,66}$	19,5
23	$\frac{10,0}{10,0}$	$\frac{4,2}{5,0}$	$\frac{2,30}{2,00}$	19,0
25	$\frac{10,0}{10,0}$	$\frac{4,0}{4,5}$	$\frac{2,50}{2,20}$	18,0

Примечание. В числителе приведены данные для ротора, в знаменателе – для статора оборудования.



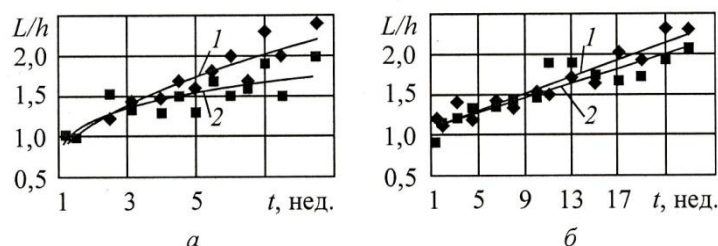


Рис. 1. Изменение геометрических параметров гарнитуры дефибратора RT-50 (а) и рафинатора RR-50 (б) от срока эксплуатации: 1 – износ на роторе, 2 – на статоре

В предыдущих исследованиях при размоле целлюлозы [1] большой гидродинамический эффект в рабочих органах машины наблюдался при отношении ширины ячейки ( $L$ ) к ее высоте ( $h$ ), равном 2. При всех прочих равных условиях, при  $L/h = 2$ , отмечен наибольший прирост градуса помола массы и меньший расход мощности.

В промышленных условиях, на заводе ДВП ЗАО «Лесосибирский ЛДК-1», исследовалась эффективность процесса размала волокнистой суспензии (II ступень, концентрация 4 %) и технологической щепы (I ступень) при изменяющихся значениях  $L/h$  и продолжительности эксплуатации с момента установки до полного износа. Перед экспериментом на сегментах дефибратора  $L = 13$  мм,  $h = 12$  мм, а на сегментах рафинатора  $L = 10$  мм,  $h = 10$  мм.

Как показали результаты исследования, в процессе эксплуатации ротор истирается интенсивнее статора. Причем первые две-три недели износ незначителен ( $L/h = 1,08 \dots 1,18$ ) и одинаков как на подвижном, так и на неподвижном дисках. В дальнейшем отмечен более интенсивный износ на роторе ( $1,20 \dots 2,16$  против  $1,20 \dots 1,80$  на статоре). Это хорошо видно из графиков (рис. 1).

Менее интенсивный износ статора, на наш взгляд, объясняется тем, что волокнистый слой в процессе размала образуется преимущественно на ножах статора, способствуя защите его рабочей поверхности. Недостаточная чистота каналов гарнитуры ротора вызывает неравномерное нависание волокон по длине ножа, что приводит к повышению его местного износа. Очевидно, увеличение этого износа от центра дисков к периферии зависит от геометрии гарнитуры, и основной процесс размала осуществляется на периферийной части диска.

Наибольший прирост градуса помола (как для дефибратора, так и для рафинатора) наблюдался при  $L/h = 1,17$ , что соответствует примерно 10...15 % износа гарнитуры.

Степень помола древесноволокнистой массы, прошедшей обработку в дисковых дефибраторах и рафинаторах, а также качество этой массы зависят не только от степени износа размалывающей гарнитуры, но и от зазора между дисками, числа оборотов питающего шнека, концентрации массы.

Таблица 2

## Интервалы и уровни варьирования управляемых факторов эксперимента

Фактор	Обозначение фактора		Интервал варьирования	Уровни варьирования факторов		
	натуральное	нормализованное		нижний (-1)	основной (0)	верхний (+1)
Износ сегментов, мм	$L/h$	$X_1$	4	2	6	10
Зазор между дисками, мм	$z$	$X_2$	0,05	0,05	0,1	0,15
Число оборотов нижнего шнека в 1 мин	$n$	$X_3$	1,7	12	13,7	15,4
Концентрация древесноволокнистой массы, %	$c$	$X_3$	0,5	2,5	3	3,5

Поэтому в соответствии с задачами исследования и на основании практики и изучения научной литературы нами приняты следующие зависимости для определения степени помола древесноволокнистой массы: для дефибратора

$$ДС = f(L/h, z, n); \quad (1)$$

для рафинатора

$$ДС = f(L/h, z, c), \quad (2)$$

где  $L/h$  – отношение высоты ячейки к ее ширине (износ сегментов);

$z$  – зазор между размалывающими поверхностями, мм;

$n$  – скорость вращения нижнего (разгрузочного) шнека, об./мин;

$c$  – концентрация древесноволокнистой массы, %.

Для выявления, оценки и математического описания влияния вышеуказанных геометрических и технологических параметров размалывающих машин на качество помола массы спланирован и проведен по В-плану второго порядка активный трехфакторный эксперимент в условиях действующего производства. Интервалы и уровни варьирования исследуемых факторов приведены в табл. 2.

В результате реализации спланированного многофакторного эксперимента получены следующие регрессионные зависимости:

для дефибратора

$$ДС = 5,2083 + 0,27846(L/h) + 16,6371z + 0,69343n - 0,00469(L/h)^2 - 50z^2 - 0,008661n^2 - 0,62495((L/h)z) - 0,0221((L/h)n) - 0,8824(zn); \quad (3)$$

для рафинатора

$$ДС = -99,9491 - 0,39619(L/h) + 80,44948z + 80,95748c + 0,014057(L/h)^2 - 110z^2 - 13,2996c^2 + 0,625((L/h)z) + 0,00000315((L/h)z) - 27(zc). \quad (4)$$

Эти уравнения справедливы для широкого диапазона управляемых факторов. Поэтому построенные по этим моделям графики можно выполнить при фиксированных значениях факторов  $L/h$ ,  $z$ ,  $n$  на максимальном или минимальном уровнях, а искомые значения при фиксировании факторов на среднем (нулевом) уровне будут находиться в рассматриваемом диапазоне, т.е. между максимальной и минимальной кривыми. В качестве примера на рис. 2 представлены графические зависимости степени помола массы от скорости вращения падающего шнека и степени износа размалывающих дисков для дефибратора и от концентрации древесноволокнистой массы и степени износа размалывающих дисков для рафинатора при фиксированном зазоре между размалывающими сегментами на максимальном уровне ( $z = 0,15$  мм).

Как видно из рис. 2, а, при износе сегментов на 90 % степень помола массы ухудшается с увеличением оборотов нижнего шнека, визуально волокно имеет неразмолотую структуру – наличие крупной фракции, спичек, и щепочек. С увеличением зазора, при тех же характеристиках, степень помола снижается. Так, при  $z = 0,1$  мм и  $n = 12,5$  об./мин степень помола ДС = 11,2, а при том же самом зазоре и  $n = 15,5$  об./мин степень помола ДС = 12,0 (графики влияния зазора на исследуемую величину не представлены). Из приведенных графиков следует что скорость вращения нижнего шнека на дефибраторе имеет исключительно важное значение для выхода качественной, хорошо размолотой массы.

На основании вышеизложенного можно отметить, что на первой ступени размала при износе дисков до 10 % и соотношении  $x_1 = L/h(-1) = 12/10$  наибольшая степень помола была достигнута при зазоре  $x_2 = z(-1) = 0,05$  мм и числе оборотов нижнего шнека  $x_3 = n(+1) = 15,4$  об./мин, а наилучший фракционный состав – при  $x_1 = L/h(-1) = 12/10$ ;  $x_2(0) = 0,10$  мм;  $x_3(0) = 13,7$  об./мин. При износе дисков 50 и 90 % наблюдалась аналогичная закономерность.

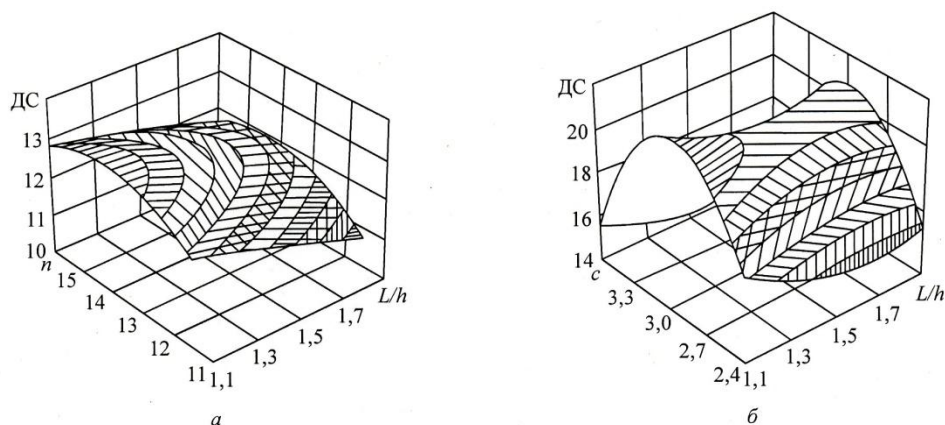


Рис. 2. Зависимость степени помола массы от параметров дефибратора (а) и рафинатора (б)

При исследовании влияния концентрации массы на второй ступени размола (диапазон концентраций (-1) = 2,5 %; (0) = 3,0 %; (+1) = 3,5 %) на качество получаемой массы установлено, что степень помола массы повышается незначительно с увеличением концентрации массы, однако существенно изменяется ее фракционный состав. При этом возрастает содержание волокон средней фракции (4/10), а содержание волокон крупной фракции (-/4) снижается, что указывает на преобладание вторичного размола при высоких концентрациях процессов истирания массы до отдельных волокон. Содержание волокон самой мелкой фракции (10/0) остается примерно на одном уровне, что указывает на отсутствие укорачивания волокон. При концентрации более 3,5 % происходит забивание канавок размольных дисков, процесс рубки волокон протекает более интенсивно (укорочение, преобладание фракции пыли, волокна малофибриллированы).

На второй ступени размола наибольшая степень помола была достигнута при износе  $x_1 = L/h(-1) = 10/8$ ;  $x_2 = z(-1) = 0,05$  мм;  $x_3 = c(0) = 3,0$  %. Фракционный состав оказался наилучшим при  $x_1 = L/h(-1) = 10/8$ ;  $x_2 = z(0) = 0,1$  мм;  $x_3 = c(0) = 3,0$  %.

Таким образом, в ходе экспериментов установлено, что как на дефибраторе, так и на рафинаторе, после определенного промежутка времени работы размалывающих сегментов, ротор истирается интенсивнее статора, поэтому необходимо ротор изготавливать из более прочного материала.

Полученные в работе расчетные зависимости степени помола от конструктивных и технологических параметров первой и второй ступеней размола в производстве ДВП позволяют при известных значениях конструктивных и технологических параметров, представленных в данной работе, определять оптимальную степень помола массы и тем самым улучшать прочностные показатели плит.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алашкевич, Ю.Д. Основы теории гидродинамической обработки волокнистых материалов в размольных машинах [Текст]: дис. ... докт. техн. наук / Ю.Д. Алашкевич. – Красноярск, 1990. – 361 с.
2. Чистова, Н.Г. Исследование процесса размола древесной массы на промышленных установках при производстве ДВП [Текст]: монография / Н.Г. Чистова, Ю.Д. Алашкевич. – Красноярск: СибГТУ, 2000. – 114 с.

Поступила 16.03.09

*N.G. Chistova, Yu.D. Alashkevich*  
Siberian State Technological University

#### **Preparation of Wood Fiber for Fiberboard Production**

The effect of design and process parameters of grinding machines on mechanical wood characteristics in the fiberboard production is assessed. It is established that rotor is abraded sooner than stator in grinding machines after a certain operation period of grinding segments.

Keywords: milling grade, wood-fiber mass concentration, rafinator, defibrator, fractional content, fittings wear, chips, wood fiber.

---

УДК 676.1.054.1

*Н.Г. Чистова, Ю.Д. Алашкевич*

Сибирский государственный технологический университет

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА РАЗМОЛА В ПРОИЗВОДСТВЕ ДРЕВЕСНОВОЛОКНИСТЫХ ПЛИТ**

Предложена математическая модель оптимизации двухступенчатого процесса размола древесноволокнистой массы на промышленных установках при производстве древесноволокнистых плит мокрым способом.

*Ключевые слова:* оптимизация, функция, фракционный состав, щепа, древесное волокно.

Производство древесноволокнистых плит (ДВП) – одно из перспективных направлений переработки низкокачественной древесины и отходов лесопиления.

Определяющим в производстве ДВП является предварительная подготовка исходного полуфабриката (щепа, древесная масса) – размол полуфабриката. Размол – один из наиболее энергоемких этапов производства ДВП – потребляет 65 % всей затраченной электроэнергии. Этот процесс осуществляется в две ступени: первая – предназначена для размола щепы на волокно (дефибратор); вторая – древесной массы (рафинатор).

Отсутствие системного подхода в исследовании процесса размола зачастую приводит к тому, что улучшение того или иного режимного параметра без учета его взаимодействия с другими приводит к ухудшению конечных показателей (производительность размольного участка, себестоимость продукции, ее качественные показатели). В реальных условиях действующего предприятия (с учетом применяемой технологии, оборудования и др.) целесообразно выбрать доминирующий показатель качества и определить такие значения режимных параметров, при которых он будет оптимальным.

Настоящая работа посвящена исследованию оптимальных условий размола древесноволокнистой массы на промышленных установках при производстве ДВП.

В качестве показателя оптимизации нами выбран расход электроэнергии, в значительной степени определяющий себестоимость готовой продукции. Для экономии электрической энергии и улучшения качества готовых плит необходимо вносить коррективы в технологию, т.е. оперативно перестраивать производственный процесс в соответствии с изменениями технологических параметров (например, при изменении породного состава сырья) и требований заказчика к качеству плит, их размерным характеристикам и физико-механическим показателям.

Для решения данной задачи составлена математическая модель оптимизации, в которой в качестве целевой функции выступает требование минимизации расхода электроэнергии при заданных режимах работы размольного участка. Система ограничений состоит из ограничений на режимные параметры и ограничений на качественные показатели готовой продукции согласно ГОСТ 4598–74.

Математическая модель задачи оптимизации будет иметь следующий вид для первой ступени размола (дефибратор):

$$\begin{aligned} f & - \text{удельный расход электроэнергии} \rightarrow \min; \\ 2 \text{ мм} & \leq \text{износ сегментов} \leq 6 \text{ мм}; \\ 0,05 \text{ мм} & \leq \text{зазор между дисками} \leq 0,15 \text{ мм}; \\ 12,0 \text{ мин}^{-1} & \leq \text{число оборотов нижнего шнека} \leq 15,4 \text{ мин}^{-1}; \\ \text{прочность } Pr & \geq 35 \text{ Па}; \\ \text{плотность } Pl & \geq 830 \text{ кг/см}^3; \\ \text{водопоглощение за 24 ч } S & \leq 36 \%; \\ \text{толщина } Tl & \leq 2,8 \text{ мм}; \end{aligned}$$

для второй ступени размола (рафинатор):

$$\begin{aligned} f & - \text{удельный расход электроэнергии} \rightarrow \min; \\ 2 \text{ мм} & \leq \text{износ сегментов} \leq 6 \text{ мм}; \\ 0,05 \text{ мм} & \leq \text{зазор между дисками} \leq 0,15 \text{ мм}; \\ 2,5 \% & \leq \text{концентрация массы перед рафинатором} \leq 3,5 \%; \\ Pr & \geq 35 \text{ Па}; \\ Pl & \geq 830 \text{ кг/см}^3; \\ S & \leq 36 \%; \\ Tl & \leq 2,8 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Все приведенные ограничения и целевая функция носят нелинейный характер. Следовательно, данная оптимизационная задача относится к классу задач нелинейного программирования. Она решалась квази-ньютоновским методом с использованием пакета прикладных программ СТАТИСТИКА. Решение этой задачи позволило определить оптимальные значения режимных параметров:

для дефибратора

$$L/h = 1,17; z = 0,15 \text{ мм}; n = 12 \text{ об./мин} \quad (L - \text{ширина ячейки рабочего органа}; h - \text{ее высота}; z - \text{рабочий зазор между сегментами}; n - \text{скорость вращения нижнего загрузочного шнека}), \text{ при этих значениях режимных параметров ДВП будут иметь следующие физико-механические показатели: } Pr = 39,2 \text{ Па}; Pl = 805 \text{ кг/см}^3; S = 35,6 \%; Tl = 2,7 \text{ мм};$$

для рафинатора

$$L/h = 1,17; z = 0,15 \text{ мм}; c = 2,5 \% \quad (c - \text{концентрация древесноволокнистой массы перед рафинатором}), \text{ при этих значениях режимных параметров ДВП будут иметь следующие физико-механические показатели: } Pr = 39,4 \text{ Па}; Pl = 810 \text{ кг/см}^3; S = 35,5 \%; Tl = 2,6 \text{ мм}.$$

Эти режимные параметры обеспечивают минимальный (оптимальный) расход электроэнергии, который для дефибратора составит 210 кВт·ч/т, для рафинатора – 240 кВт·ч/т.

Испытания показали, что при оптимальных параметрах работы ножевого размольного оборудования (при прочих равных условиях) наблюдается стабилизация всех технологических параметров древесной массы, что приводит к улучшению физико-механических показателей готовой плиты: прочность растет, водопоглощение снижается, плотность и толщина плиты стабилизируются. Это в конечном итоге способствует улучшению качества выпускаемой продукции при минимальном расходе электроэнергии на участке размола.

На основании полученных решений задачи оптимизации можно установить оптимальные параметры работы размольных машин в зависимости от основных показателей готовых изделий при минимальном удельном расходе электроэнергии и качестве размалываемой массы. Таким образом, с использованием конструктивных и технологических параметров размалывающих машин, физико-механических и геометрических свойств плиты оказалось возможным прогнозировать необходимые параметры готового продукта с минимальными затратами электроэнергии.

Например, чтобы получить плиту с  $Pr = 40,1$  Па;  $Pl = 833$  кг/см<sup>3</sup>;  $S = 35,5$  % и  $Tl = 3,1$  мм, необходимо установить на *дефибраторе* следующие конструктивные параметры:  $\sigma = 0,15$  мм,  $n = 13,7$  об./мин при износе сегментов на 10 %, что составляет  $L/h = 1,17$ . Степень помола (ДС) при работе дефибратора с данными параметрами ДС = 12,2, а удельный расход электроэнергии составит 215 кВт·ч/т. При работе дефибратора с установленными на нем теми же самыми значениями конструктивных параметров ( $\sigma = 0,15$  мм и  $n = 13,7$  об./мин), но при износе сегментов на 90 % ( $L/h = 1,85$ ) степень помола ДС = 11,0, расход электроэнергии составит 226 кВт·ч/т, а физико-механические показатели готовой плиты несколько ухудшаться:  $Pr = 36,4$  Па;  $Pl = 720$  кг/см<sup>3</sup>;  $S = 36,5$  %;  $Tl = 3,2$  мм.

Чтобы на *рафинаторе* получить древесноволокнистую плиту с такими же физико-механическими показателями при износе размалывающих сегментов на 10 % ( $L/h = 1,17$ ), следует установить следующие конструктивные параметры:  $\sigma = 0,05$  мм и  $c = 3,5$  %. Удельный расход электроэнергии при этом составит 445 кВт·ч/т, степень помола после рафинатора ДС = 19,0. При тех же конструктивных параметрах, но при износе сегментов на 90 % имеем  $L/h = 1,85$ , при этом физико-механические показатели ухудшаются, расход электроэнергии увеличивается, степень помола снижается.

Таким образом, по результатам решения поставленной в работе задачи оптимизации предложено совместное решение обобщения конструктивных и технологических параметров размалывающих машин, качественных показателей размола, физико-механических и геометрических параметров готовой ДВП с учетом энергозатрат для целенаправленного оперативного регулирования производства ДВП, а также прогнозирования показателей готового изделия при проектировании конструктивных и энергосиловых параметров новых размалывающих машин.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алашкевич, Ю.Д.* Основы теории гидродинамической обработки волокнистых материалов в размольных машинах [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук / Ю.Д. Алашкевич. – Красноярск, 1990. – 361 с.
2. *Балмасов, Е.Я.* Исследование и разработка технологических основ производства древесноволокнистых плит с целью его оптимизации [Текст]: дис. ... д-ра техн. наук / Е.Я. Балмасов. – М., 1979. – 327 с.
3. *Бекетов, В.Д.* Повышение эффективности производства древесноволокнистых плит [Текст] / В.Д. Бекетов. – М.: Лесн. пром-сть, 1988. – 160 с.
4. *Леонович, А.А.* Актуальные вопросы производства древесных плит на юбилейной конференции [Текст] / А.А. Леонович // Древесные плиты: теория и практика: 10-я Междунар. науч.-практ. конф. / под ред. А.А. Леоновича. – СПб., 2007. – С. 3–6.
5. *Чистова, Н.Г.* Исследование процесса размола древесной массы на промышленных установках при производстве ДВП [Текст]: монография / Н.Г. Чистова, Ю.Д. Алашкевич. – Красноярск: СибГТУ, 2000. – 114 с.

Поступила 11.03.09

*N.G. Chistova, Yu.D. Alashkevich*  
Siberian State Technological University

**Grinding Process Optimization in Fiberboard Production**

The mathematical model of two-step process of wood-fiber mass grinding at industrial plants is offered for wet fiberboard production.

Keywords: optimization, function, fractional content, chips, wood fiber.

---





## ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

УДК 630\*611

**Н.М. Большаков**

Сыктывкарский лесной институт  
С.-Петербургской государственной лесотехнической академии

Большаков Николай Михайлович родился в 1937 г., окончил в 1967 г. Саратовский политехнический институт, доктор экономических наук, кандидат технических наук, профессор кафедры менеджмента и маркетинга, президент Сыктывкарского лесного института – филиала СПбГЛТА, академик РАЕН, заслуженный деятель науки и техники Республики Коми, лауреат Государственной премии Республики Коми, почетный работник высшей школы РФ. Имеет около 400 печатных работ по вопросам развития регионального хозяйственного механизма, экономической эффективности лесопользования, переработки отходов производства и потребления.  
E-mail: institut@sfi.komi.com

**НОВЫЙ ПОДХОД К ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЮ\***

Обозначены основные тенденции развития мирового лесопользования. Показаны характеристики индустриального и постиндустриального леса. Даны предложения по реконструкции структуры лесопользования на Российском Севере.

*Ключевые слова:* многократное комплексное лесопользование, интегральная цена леса, древесные, недревесные, рекреационные полезности.

В лесном хозяйстве России заметны признаки принципиально нового этапа развития, началом которого стал процесс разработки и принятия нового Лесного кодекса 2006 г., утверждающего принцип многообразия форм лесопользования. Особое значение придается щадящим видам лесопользования: побочному, для рекреационных целей, нужд охотничьего хозяйства и др. Во многих лесных странах эти формы обеспечивают многократно больший доход, чем лесозаготовки, при сохранении лесных экосистем. Поэтому организация эффективного использования всех компонентов лесных ресурсов становится одной из приоритетных задач государственной лесной политики [5].

Заметным нововведением в теории лесопользования последнего времени стало представление о мультифункциональности лесохозяйственной деятельности. Если традиционно лесопользование сводили к производству древесного сырья для лесоперерабатывающей промышленности, то ныне оно рассматривается шире. Речь идет о многократном использовании всего комплекса ресурсов и услуг леса, в том числе недревесных полезностей и рекреационных функций при освоении одного и того же участка лесного фонда.

\* В порядке обсуждения.

При этом в результате лесохозяйственной деятельности обеспечиваются дополнительные общественные блага, неистощительность лесопользования, воспроизводство лесов, сохраняются исторически сложившийся ландшафт и биоразнообразие в биоценозах. Как следствие, укрепляется национальная экономика страны, создаются условия для удовлетворения социально-духовных и рекреационных потребностей общества. Теория мультифункциональности появилась только в последнее время, хотя ее предпосылками лесное хозяйство обладало всегда.

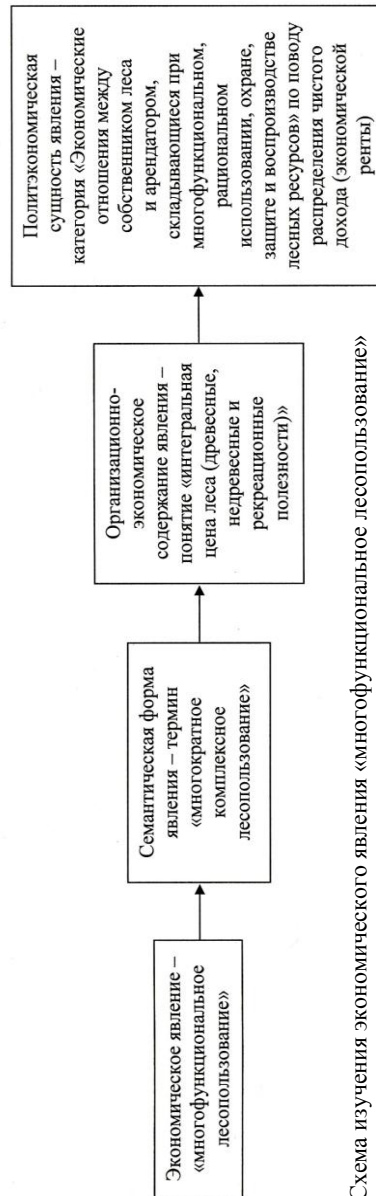
Лесные отношения менялись по мере становления и развития цивилизации. На каждом этапе они принимают форму экономических интересов. На заре истории человечества лес служил жилищем, давал пропитание, одевал, обувал. И люди относились к нему соответственно. С развитием земледелия, животноводства и ремесел дары леса постепенно утратили свое главное значение. Человек все более ощущал себя хозяином, прежнее гармоничное отношение к лесу сменилось потребительским. Леса нещадно вырубались под сельскохозяйственные угодья, использовались для строительства жилищ и их отопления, пока в конце XVIII в. – начале XIX в. не зародилась наука о лесоводстве (Германия, вторая половина XVIII столетия). Были предложены новые формы лесных отношений (теория неистощительности и постоянства пользования).

Во второй половине XX в. мы в очередной раз столкнулись с последствиями промышленного уничтожения лесов. К настоящему времени лесные массивы практически по всему миру оказались под угрозой неконтролируемого вырождения под влиянием возрастающих нагрузок. В связи с этим специалисты-экологи считают, что уже в XXI в. необходимо выработать иной подход к лесопользованию. В научном обороте появился термин «постиндустриальный лес», воплощающий особенности постпродуктивного лесоводства и лесопользования, в котором акцент делается в основном не на производстве древесины, а на проблемах охраны и защиты лесов, на разработке рациональных форм ведения многофункционального лесного хозяйства. Схематически последовательность изучения нового экономического явления представлена на рисунке [1].

Рассматривая многофункциональное лесопользование как экономическую категорию, мы раскрываем интересы субъектов новых лесных отношений. Переход к многофункциональному лесопользованию, олицетворяющий более высокую ступень развития лесного хозяйства и повышения его доходности, по-новому представил традиционную проблему продуктивистского лесоводства, что означает расширенное воспроизводство не только древесины, но и всего комплекса невесомых полезностей леса, на которые предъявляется платежеспособный спрос общества. При этом складываются новые экономические отношения между государством – собственником лесных ресурсов и арендатором участков леса по поводу распределения чистого дохода (экономической ренты). По сути идет борьба за долю в добавленной стоимости, создаваемой арендатором при многофункциональном освоении участка лесного фонда. Последняя делится между государством – собственником леса и арендатором – собственником капитала.

Лесопользование представляет собой единство двух взаимозависимых процессов – эксплуатации и воспроизводства лесных ресурсов. Между этими сторонами экономического явления происходит внутренняя борьба противоречий, выступающая источником развития лесопользования.

Развитию новых лесных отношений присущи объективные противоречия. Одним из них является противоречие между экономическими интересами собственника лесных ресурсов – общества в лице государства, с одной стороны, и арендаторов лесных участков – с другой. Государству выгодно, чтобы арендаторы обеспечивали многофункциональное, рациональное, непрерывное, неистощительное использование лесов для удовлетворения потребностей общества в лесных ресурсах, гарантировали сохранение лесной среды (экосистем) и лесовосстановление на вырубаемых площадях, что означает расширенное воспроизводство не только древесины, но и всего комплекса продуктов и полезностей леса (древесные, недревесные и рекреационные). Частным предприятиям (арендаторам) это невыгодно, ибо требует больших дополнительных затрат и связано с некоммерческими и коммерческими рисками. Для разрешения противоречия требуется: разработать систему конкретных мероприятий, направленных на развитие и становление механизмов концессионного законодательства применительно к лесопользованию; новые методы взаимоотношений между государством и бизнесом на основе развития государственно-частного партнерства; создать гибкую систему налогообложения и стимулировать на ее основе рациональную интеграцию лесопромышленных предприятий, разделение системы принятия решений и контроля за их выполнением при управлении лесным комплексом; сократить количество уровней контроля.



## Характеристика индустриального и постиндустриального леса

Характеристика	Индустриальный лес	Постиндустриальный лес
Цель управления	Производство древесины	Полезные свойства окружающей среды
Возможности	Многофункциональные	Мультифункциональные
Типичный состав дровостоя	Насаждения разновозрастные, в основном хвойные	Насаждения смешанные, разновозрастные, в основном широколиственные
Типичное местоположение	Периферийное/отдаленное от поселений	Приурбанистическое/с равнинным и нагорным рельефом
Ценность	Прикладная	Внутренне присущая
Этос (внутренний настрой человека)	Рациональный	Эмоциональный
Стиль управления	Авторитарный	Консенсусный
Подход в управлении	Механический / редуционистский	Органичный/ целостный, системный

Многофункциональное лесопользование представляет собой нечто большее, чем простое изменение приоритетов. Прежде всего, предусматриваются значительные изменения как в целях и средствах лесоводства и лесоуправления, так и в новых подходах к научным исследованиям и подготовке лесных кадров. Предпочтение отдается социально-экономическим вопросам вместо традиционного продуктивистского лесоводства. Стоимость нематериальных товаров и услуг повышается по сравнению с материальными ценностями. По мере урбанизации использование невесомых полезностей леса становится одним из важнейших перспективных направлений его многофункционального использования. Одним словом, акцент переносится с производства древесины на многофункциональность лесных экосистем, использование, прежде всего, целого ряда нематериальных ресурсов лесного фонда, рекреационные и защитные услуги, утилизацию углерода. Некоторые из характеристик индустриального и постиндустриального леса представлены в таблице [3], из них не следует, что производство древесины не присуще постиндустриальному лесу.

Для изменившихся акцентов разработаны и применяются новые термины, например многоцелевое и мультиресурсное управление лесами и лесными экосистемами, мультифункциональное лесное хозяйство и ряд других. Во всех терминах речь идет о многоцелевом лесопользовании, в котором, наряду с заготовкой древесины, осуществляется максимальное использование недревесных и рекреационных полезностей леса. Эти радикальные изменения в определении ценностей, видимо, будут охарактеризованы как «экологическая революция», как важные преобразования в отношениях человека с лесной средой.

Проблемы гармонизации отношений между человеком и лесом как биологическим сообществом превратились из национальных в интернациональные. Все больше людей начинают понимать важность лесов для устойчивого развития хозяйственной деятельности человека на земном шаре в целом.

Традиционное «пионерное» освоение лесов привело к тому, что лесные ресурсы России в течение прошлого столетия были в экономическом смысле существенно подорваны. За период с 1965 г. по 1999 г. доля хвойных пород в общей расчетной лесосеке снизилась от 66,6 до 56,9 %, в первую очередь за счет лесов освоенных регионов Европейской России. На сегодняшний день все более или менее экономически ценные и значимые ресурсы хвойных пород в значительной степени истощены и расстроены.

Переход от плановой экономики к рыночной характеризуется снижением мер регулирования со стороны государства. Требуется взвешенная лесная политика с учетом всех региональных, естественно-географических и национальных особенностей, а также анализа на уровне мировой экономики, которая должна сопровождаться многофакторным анализом существующей экономической базы.

Несмотря на различия в организационных формах, лесопользование, как и вся мировая экономика, подвержено действию ряда общих процессов, часть которых имеет однонаправленный характер. Такое воздействие оказывают общий социальный, экономический и научно-технический прогресс, изменения экологии, структуры потребления, нарастающие объемы производства и надвигающееся истощение некоторых видов древесного сырья, ухудшение условий освоения лесов, рассогласование ценовых соотношений между лесосырьевой и другими отраслями мировой экономики. В совокупности насчитывается до 40 процессов и факторов, воздействующих на мировое лесопользование.

Наиболее перспективный путь оздоровления экологической и экономической обстановки на Российском Севере состоит в реконструкции структуры лесопользования. По этому пути идут практически все приарктические государства [3].

Рекреационное использование лесов – одно из перспективных направлений производственной и сырьевой диверсификации лесопользования [4]. Необходимо формировать природно-заповедную сеть, создавать альтернативу лесозаготовкам, развивая рекреационный комплекс, более полно используя недревесные полезности леса. В рамках расширения законодательной базы требуется принять специальный закон «О ведении хозяйства в рекреационных лесах» и долгосрочную государственную программу «Мультифункциональное лесопользование». Обеспечение рекреационных возможностей леса для общества должно быть подтверждено как в общегосударственных законах, так и в подзаконных актах, принимаемых в регионах страны.

Привнесение в лесозаконодательную науку новых терминов, понятий, категорий, несомненно, способствует ее совершенствованию. Парадигма «постиндустриального леса» становится одним из наиболее эффективных теоретических инструментов исследования тенденций развития лесопользования в XXI в. [2].

Разумеется, решение проблемы эффективного хозяйственного освоения лесов на принципах мультифункционального, рационального, непрерывного, неистощительного их использования представляет сложнейший многофакторный процесс. В силу особенностей лесохозяйственного производства, неодинаковости условий освоения лесов (их состояние, региональные условия воспроизводства, наличие транспортных путей, рынки сбыта лесопродукции, ресурсы трудоспособного населения), высокой экологической нагрузки на территории глубокой переработки древесного сырья классическая рыночная модель, как правило, оказывается неэффективной либо заведомо неприемлемой. Поэтому многие лесные страны с традиционной рыночной ориентацией (США, Великобритания, Германия и др.) используют и продолжают совершенствовать вне рыночные механизмы, позволяющие оптимизировать процессы мультифункционального использования лесов, реализации и потребления лесных ресурсов в соответствии с национальными и региональными интересами.

Перспективным направлением активизации роли государства по отношению к лесному комплексу является развитие и становление концессионного законодательства, разработка новых методов взаимоотношений между государством и бизнесом. С вступлением в силу Федерального закона РФ «О концессионных соглашениях» от 21 июля 2005 г. № 115-ФЗ открывается путь для реализации проектов освоения лесов на основе государственно-частного партнерства. По своей экономической природе это развитие традиционных механизмов взаимодействия между государством и частным сектором в виде долгосрочного партнерства в целях комплексного освоения участков лесного фонда без сложившейся инфраструктуры, требующего значительных средств для вовлечения в хозяйственное использование различных видов лесных ресурсов. Цель государственно-частного партнерства – развитие мультифункционального использования лесных ресурсов в интересах общества путем объединения ресурсов и опыта каждой из сторон, реализация проектов комплексного лесопользования с наименьшими затратами и рисками при условии предоставления экономическим субъектом высококачественных услуг. Государственно-частное партнерство на основе реализации экономического механизма рентных платежей должно стать одним из стратегических направлений при организации мультифункционального лесопользования. Это будет способствовать привлечению инвестиций в лесную экономику, а также эффективному использованию государственной собственности (лесных ресурсов) и росту лесного дохода.

Таким образом, переход на многократное многофункциональное лесопользование является приоритетным направлением развития лесного сектора экономики России в XXI в.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Белкин, В.* Методика исследования экономических явлений [Текст] / В. Белкин // Человек и труд. – 2008. – № 2. – С. 40–41.
2. *Большаков, Н.М.* Лесная политика в постиндустриальной экономике [Текст] / Н.М. Большаков. – Сыктывкар, 2007. – 224 с.
3. *Большаков, Н.М.* Постиндустриальный лес: современное состояние и перспективы [Текст] / Н.М. Большаков. – Сыктывкар, 2006. – 136 с.
4. *Большаков, Н.М.* Рекреационное лесопользование [Текст] / Н.М. Большаков. – Сыктывкар, 2006. – 312 с.
5. *Моисеев, Н.А.* Основы прогнозирования, использования и воспроизводства лесных ресурсов [Текст] / Н.А. Моисеев. – М., 1974. – 224 с.

Поступила 28.04.08

*N.M. Bolshakov*  
Syktyvkar Forest Institute  
Saint-Peterburg State Forest Technical Academy

**New Approach to Forest Management**

Main tendencies in the development of the world forest management are outlined. Characteristics of industrial and post-industrial forest are demonstrated. Proposals concerning restructuring of forest management in the Russian North are provided.

Keywords: multiple complex forest management, integral forest assessment, wood, non-wood and recreational benefits.

---



## ИСТОРИЯ НАУКИ

УДК 630\*902

## ДОСТОЙНОЕ СЛУЖЕНИЕ ЛЕСНОМУ ДЕЛУ



9 октября 2009 г. исполнилось бы 110 лет со дня рождения Ивана Матвеевича Науменко, доктора сельскохозяйственных наук, профессора, заведующего кафедрой таксации и лесоустройства, проректора по научной работе Воронежского лесотехнического института, заслуженного деятеля науки, кавалера ордена Ленина, участника международных форумов лесоводов в Швеции, США, Австрии.

И.М. Науменко родился в 1899 г. в г. Калаче Воронежской губернии. В 1918 г. окончил гимназию в г. Боброве, в 1919–1922 гг. служил в рядах Красной

Армии. После демобилизации поступил на лесной факультет Воронежского сельскохозяйственного института (ВСХИ). Высшая лесная школа Воронежской губернии в то время находилась на первоначальном этапе своего развития. В ее становлении большая роль принадлежала проф. А.В. Тюрину, лекции которого по лесной таксации вызывали неизменный интерес у многих студентов, среди них и у Ивана Науменко. Он увлеченно занимался научной работой и решил посвятить свою жизнь науке о лесе. Его дипломная работа получила высокую оценку и рекомендовалась к публикации. Это была первая печатная работа И.М. Науменко по изучению дубрав Шипова леса Воронежской губернии, изданная в научных записках ВСХИ (1927. – Т. 8).

На талантливого выпускника обратил внимание А.В. Тюрин, пригласив его по окончании вуза в 1924 г. на должность ассистента кафедры. Иван Матвеевич стремился следовать советам своего учителя сочетать преподавательскую работу с научными исследованиями. Педагогическое и лекционное мастерство ученого, ставшего в дальнейшем профессором, достигло высокого уровня. Его лекции отличались простотой изложения, доходчивостью, сопровождались использованием наглядных пособий.

Большое внимание И.М. Науменко уделял учебной практике по лесной таксации. На заключительном этапе он обязательно знакомился с материалами студентов в их присутствии. Затем проводил коллективный обход в лесу по объектам практики, не передоверяя экскурсию ассистентам. В ре-



зультате освоения курса лекций и материалов практики студенты были хорошо подготовлены к сдаче экзамена.

Научная деятельность Ивана Матвеевича на начальном этапе была связана с лесоустроительными работами, выполненными в 1925–1926 гг. в Учебно-опытном лесхозе, а затем в Теллермановском лесу Воронежской губернии. Центрально-Черноземный край всегда славился дубравами, которым были посвящены основные исследования ученого. Научно-педагогическая деятельность И.М. Науменко оказалась столь значительной, что в 1937 г. ученый совет Тимирязевской СХА присвоил ему ученую степень кандидата наук без защиты диссертации. Впоследствии он получил ученое звание доцента.

Одновременно Иван Матвеевич занимался административной работой. С 1931 г. по 1936 г. был деканом лесного факультета Воронежского лесохозяйственного института, организованного в 1930 г. В эти годы он исследовал важнейшие вопросы лесной таксации. Результатом научной работы стала успешная защита весной 1941 г. в ученом совете ВСХИ докторской диссертации на тему «Прирост леса водоохраной зоны». В 1944 г. ему присвоено ученое звание профессора.

В 1943 г. профессор А.В. Тюрин переехал на работу в Москву. С тех пор до конца жизни И.М. Науменко заведовал кафедрой лесной таксации и лесоустройства. Одновременно был проректором по научной работе Воронежского лесотехнического института.

Благодаря трудолюбию и организаторским способностям Иван Матвеевич стал одним из выдающихся ученых института в послевоенные годы, внес значительный вклад в развитие воронежской школы лесоводов, таксаторов и лесоустроителей.

В 1950 г. в Воронежской области выполнялись очередные лесоустроительные работы. Была создана опытно-производственная группа ученых института и лесоустроителей-производственников, которая исследовала дубравы Шипова и Теллермановского лесов. Группа разработала мероприятия по организации хозяйства в дубовых насаждениях, определившие способы лесовосстановления и рубок ухода. Были составлены новые таблицы хода роста семенных и порослевых дубрав.

Иван Матвеевич обладал прекрасным качеством – предвидением последствий природных процессов в лесу. Так, изучая дубравы Шипова леса, которые в 1950 г. имели возраст 130...135 лет, он пришел к выводу, что преждевременно причислять их к спелым и назначать в рубку, они могут оставаться на корню еще не менее 40 лет. Прогноз ученого оправдался. Исследования, проведенные его учениками в 2006–2008 гг. (В.А. Бугаев и др.), показали, что в современных дубравах возраста 185...195 лет распад не наблюдается.

И.М. Науменко как проректор по науке проявлял многогранные организаторские способности, привлекая ученых к решению наиболее важных вопросов лесного хозяйства. Так произошло в 1952 г. при его участии в комплексной экспедиции академика АН СССР В.Н. Сукачева по изучению

состояния защитных насаждений и разработке рекомендаций, способствующих их улучшению, а также в 1953 г. при разработке основ ведения хозяйства в горных лесах Северного Кавказа. В 1955–1958 гг. подобная работа проводилась в зеленой зоне Москвы, при составлении генерального плана развития лесного хозяйства Украины. Во всех перечисленных объектах были выполнены широкомасштабные исследования в лесу, обобщены выводы, даны рекомендации. В 1950 г. вышла в свет книга «Полезитные лесонасаждения Воронежской области», в 1954 г. брошюра «Опыт лесоустройства ценных лесных массивов. Шипов лес», в 1956 г. монография «Возрасты спелостей и рубок для лесов УССР».

Иван Матвеевич не был только «кабинетным» ученым, хотя многие часы напряженно работал за письменным столом. Научные достижения он стремился внедрить в лесохозяйственное производство, демонстрировал на организованных им в г. Воронеже в 1958–1959 гг. всесоюзных конференциях по организации хозяйства в сосновых борах и дубравах с экскурсиями по лесхозам.

Богатый опыт и методы организации научной и педагогической деятельности Ивана Матвеевича восприняли многочисленные его ученики и последователи. Ряд из них, окончив Воронежский лесотехнический институт, стали известными лесоводами и лесоустроителями.

17 декабря 1961 г. перестало биться сердце И.М. Науменко, но его забота о русском лесе будет долгие годы служить примером для отечественных лесоводов.

*В.А. Бугаев, М.П. Чернышов*

Воронежская государственная  
лесотехническая академия

*V.A. Bugaev, M.P. Chernyshov*

**Worthy Service to Forestry**

---



## ЮБИЛЕИ

УДК 06.091

**ЮБИЛЯРЫ «ЛЕСНОГО ЖУРНАЛА»**

В 2009 г. отмечают 80-летний юбилей известные российские ученые, преподаватели Архангельского государственного технического университета, ровесники АЛТИ – АГТУ: заместители главного редактора «Лесного журнала» Евгений Самуилович Романов (с 1967 г.) и Станислав Иванович Морозов (1973–2008 гг.), члены редколлегии Виктор Яковлевич Харитонов и Олег Алексеевич Неволин (с 1989 г.).

Жизненный путь юбиляров тесно связан с «Лесным журналом», его возрождением и развитием в серии «Известия высших учебных заведений». Своим самоотверженным трудом они способствуют повышению научного уровня журнала, его авторитета в России и за ее пределами. Благодаря их усилиям значительно расширен круг авторов и рецензентов, поддерживаются и укрепляются связи с ведущими учебными заведениями, научно-исследовательскими институтами, предприятиями лесного комплекса, зарубежными университетами.

Энциклопедические знания, многогранные интересы, незаурядная эрудиция ученых определили их высокий общественный статус. Е.С. Романов – доктор экономических наук, профессор кафедры экономики отраслей, заслуженный экономист РФ, значимые научные исследования посвящены экономике лесозаготовительной отрасли. С.И. Морозов – доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники РФ, создал научную школу по проблемам сварного пути, его температурно-напряженного состояния. В журнале отвечал за разделы лесозаготовки, механической обработки древесины и древесиноведения. В.Я. Харитонов – доктор технических наук, профессор кафедры водного транспорта леса и гидравлики, заслуженный работник высшей школы РФ, автор новых экологически совершенных и экономически эффективных технологий лесосплава. О.А. Неволин – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесной таксации и лесоустройства, заслуженный лесовод РСФСР, историограф, популяризатор трудов выдающихся русских лесоводов и лесоустроителей,

---

---

автор ряда учебных пособий и монографий, в журнале курирует раздел лесного хозяйства.

Ветераны лесной науки и высшей школы шагают в ногу со временем, компетентны, требовательны, готовы передать эстафету новому поколению тружеников леса.

Поздравляем Евгения Самуиловича, Станислава Ивановича, Виктора Яковлевича и Олега Алексеевича с юбилеем! Желаем доброго здоровья, жизнелюбия, активного творческого долголетия.

Ректорат Архангельского государственного  
технического университета,  
редколлегия и редакция «Лесного журнала»

*Administration of Arkhangelsk State Technical University,  
Editorial Board and Editorial Staff of «Lesnoi Zhurnal»*

**Jubilee Holders of «Lesnoi Zhurnal»**

---

---