

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

---

АРХАНГЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИЗВЕСТИЯ  
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ  
ЗАВЕДЕНИЙ

---

# *Лесной журнал*

ПОСВЯЩАЕТСЯ 290-ЛЕТИЮ  
М.В. ЛОМОНОСОВА

DEVOTED TO THE 290<sup>TH</sup> BIRTHDAY  
OF M.V. LOMONOSOV

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

3

2001

ИЗДАТЕЛЬ – АРХАНГЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Главный редактор – проф. **О.М. Соколов**  
Заместители главного редактора:  
проф. **Е.С. Романов**, проф. **С.И. Морозов**

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

проф. **Е.Д. Гельфанд**, проф. **И.И. Гусев**, проф. **Р.Е. Калитеевский**, проф. **А.Н. Кириллов**, проф. **В.И. Комаров**, проф. **Н.В. Лившиц**, проф. **В.И. Мелехов**, проф. **Е.Г. Мозолева**, **В.В. Мусинский**, доц. **О. А. Неволин**, проф. **А.Н. Обливин**, проф. **В.И. Онегин**, проф. **Г.С. Ощепков**, проф. **А.В. Питухин**, проф. **В.К. Попов**, проф. **С.М. Ренях**, проф. **А.Р. Родин**, проф. **В.П. Рябчук**, проф. **Е.Д. Сабо**, проф. **Э.Н. Сабуров**, проф. **Е.Н. Самошкин**, проф. **В.И. Санев**, проф. **О. А. Терентьев**, проф. **Ф.Х. Хакимова**, проф. **В.Я. Харитонов**, проф. **Г.А. Чибисов**, проф. **Х.-Д. Энгельманн**

Ответственный секретарь – заслуженный работник культуры **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» № 3

Редакторы **Н.П. Бойкова**, **Л.С. Окулова**  
Перевод **Н.Т. Подражанской**  
Компьютерный набор **О.В. Деревцовой**, верстка **Е.Б. Красновой**

---

Сдан в набор 20.04.2001. Подписан в печать 22.05.2001.  
Форм. бум. 70×108 1/16. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 13,6. Усл. кр.-отт. 13,6.  
Уч.-изд. л. 16,4. Тираж 1000 экз.  
Архангельский государственный технический университет

---

Адрес редакции: 163002, г. Архангельск, наб. Сев. Двины, 17, тел.: (818-2) 44 13 37,  
факс: (818-2) 44 11 46, e-mail: forest@agtu.ru http://lesnoizhurnal.agtu.ru

---

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

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>И.С. Мелехов.</i> М.В. Ломоносов и истоки науки о лесе и лесного образования в России .....	8
<i>Т.С. Буторина.</i> М.В. Ломоносов как основоположник высшего российского образования .....	14
<i>С.И. Третьяков.</i> Ломоносов и химия .....	23

## ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

<i>Е.Н. Наквасина, Т.В. Бедрицкая, О.А. Гвоздихина.</i> Селекционная оценка климатипов сосны обыкновенной в географических культурах Архангельской области .....	27
<i>О.А. Неволин, С.В. Третьяков, О.О. Еремина.</i> Динамика сосново-березового насаждения при проточном увлажнении почвы в типе леса сосняк-кисличник .....	35
<i>И.И. Минкевич, О.Н. Ежов.</i> Распространение и морфологическое разнообразие плодовых тел сосновой губки в лесах Европейского Севера России. ....	41
<i>А.В. Лебедев, Э.А. Иванова.</i> Патология ели в древостоях разного состава.....	46
<i>А.Г. Измоденов.</i> Классификация лесных продольственных растений (на примере Дальнего Востока).....	50

## ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

<i>С.И. Морозов.</i> Экспериментальное определение параметров силовой функции.....	57
<i>Г.А. Борисов, В.Д. Кукин, В.И. Кузина.</i> Методы поиска наивыгоднейшего варианта сети лесовозных дорог .....	63
<i>В.С. Морозов.</i> К вопросу о расчете толщины зимних лесовозных дорог на болотах .....	71
<i>В.Н. Шиловский.</i> Математическая модель организации технического сервиса лесозаготовительных машин передвижными средствами.....	77

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ  
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

<i>Ю.В. Бугаев.</i> Применение векторной оптимизации на графах для моделирования раскроя лесоматериалов .....	84
<i>Г.Ф. Прокофьев, И.И. Иванкин, Н.И. Дундин.</i> Исследование начальной жесткости полосовых пил.....	88
<i>В.В. Тулейко, В.Б. Снопков.</i> Прессование древесностружечных плит увеличенной толщины. 1. Явления тепло- и массопереноса в древесностружечном брикете .....	95

*ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ*

- И.С. Гелес.* К вопросу определения химического состава древесного сырья... 102  
*В.И. Комаров, М.Ю. Кузнецова.* Влияние рН бумажной массы на вязкоупругие свойства бумаги для печати ..... 112

*ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА*

- Ю.Б. Зяблов.* Вопросы теории платы за лес на корню..... 124  
*Е.С. Романов.* О роли ренты в платежах за лес..... 127

*КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ*

- А.И. Чернодубов.* Наследование цвета семенной кожуры потомствами сосны обыкновенной..... 134  
*И.И. Минкевич.* Об отрицательном эффекте карантинных мероприятий на примере массовых болезней древесных пород..... 137

*КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ*

- Ю.Ф. Арефьев.* Книга о диких свиньях..... 141

*ЮБИЛЕИ*

- Московский государственный университет леса, Международная Славянская академия, Московское общество испытателей природы.* Михаил Дмитриевич Мерзленко ..... 142  
*А.В. Ильин, А.И. Акулов.* 70 лет на передовых рубежах науки..... 143
-

## CONTENTS

<i>I.S. Melekhov.</i> M.V. Lomonosov and Cradle of Forest Science and Forest Education.....	8
<i>T.S. Butorina.</i> M.V. Lomonosov as Originator of Higher Education in Russia.....	14
<i>S.I. Tretjakov.</i> Lomonosov and Chemistry.....	23
<b>FORESTRY</b>	
<i>E.N. Nakvasina, T. V. Bedritskaya, O. A. Gvozdukhina.</i> Selective Evaluation of Climatypes of Common Pine in the Geographical Cultures of the Arkhangelsk Region.....	27
<i>O.A. Nevolin, S.V. Tretjakov, O.O. Eremina.</i> Dynamics of Pine-and-Birch Stand under Flowing Moistening of Soil in the Pinetum betuleto-oxalidosum Forest Type .....	35
<i>I.I. Minkevich, O. N. Ezhov.</i> Spreading and Morphological Diversity of Fruit Bodies of the Pine Fungus in the Forests of the European North of Russia.....	41
<i>A.V. Lebedev, E. A. Ivanova.</i> Spruce Pathology in the Stands of Different Composition.....	46
<i>A.G. Izmodenov.</i> Classification of Forest Food Plants (Based on the Example of the Far East).....	50
<b>WOODEXPLOITATION</b>	
<i>S.I. Morozov.</i> Experimental Characterization of Forcing Power.....	57
<i>G.A. Borisov, V.D. Kukin, V.I. Kuzina.</i> Methods of Searching the Best Profitable Variant for the Forest Road Network.....	63
<i>V.S. Morozov.</i> To the Question of Estimating Thickness of Winter Forest Roads on Bogs.....	71
<i>V.N. Shilovsky.</i> Mathematical Model of Logging Machines Maintenance by Mobile Units.....	77
<b>MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOODSCIENCE</b>	
<i>Yu.V. Bugaev.</i> Use of Vector Optimization on the Graphs for Wood Cutting Modelling.....	84
<i>G.F. Prokofjev, I.I. Ivankin, N.I. Dundin.</i> Investigation of Initial Hardness of Strip Saws.....	88
<i>V.V. Tuleiko, V.B. Snopkov.</i> Compression of Particle Boards of Enlarged Thickness 1. Heat and Mass Transfer in Wood-particle Briquet.....	95
<b>CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD</b>	
<i>I.S. Geles.</i> To the Question of Determining Chemical Composition of the Wood Raw Material.....	102
<i>V.I. Komarov, M.Yu. Kuznetsov.</i> Influence of pH Paper Mass on the Viscoelastic Properties of Paper for Printing.....	112
<b>ECONOMICS AND MANAGEMENT</b>	
<i>Yu.B. Zyablov.</i> Questions of Stumpage Theory.....	124
<i>E.S. Romanov.</i> Rent in Payments for Wood.....	127

---

*SUMMARIES AND EXCHANGE OF EXPERIENCE*

- A.I. Chernodubov.* Inheritance of Seed Paring Color by the Scots Pine Breed..... 134  
*I.I. Minkevich.* On Negative Effect of Quarantine Measures Based on the  
Example of Mass Diseases of Tree Species..... 137

*CRITIQUE AND BIBLIOGRAPHY*

- Yu.F. Arefjev.* Book about Wild Pigs..... 141

*JUBILEES*

- Moscow State Forest University, International Slavonic Academy, Moscow Society  
of Nature Testers.* Mikhail D. Merzlenko..... 142  
*A.V. Iljin, A.I. Akulov.* 70 years in the Advanced Frontiers of Science..... 143
-

*И.С. Мелехов*

## **М.В. ЛОМОНОСОВ И ИСТОКИ НАУКИ О ЛЕСЕ И ЛЕСНОГО ОБРАЗОВАНИЯ В РОССИИ**

... О том, что М.В. Ломоносов стоял у истоков лесного образования в нашей стране, есть прямые и красноречивые свидетельства. В 1752 г. по указанию императрицы Елизаветы Петровны в Академию наук на заключение была направлена рукопись сочинения по лесоводству «лесного знателя» Фокеля. Имя Фокеля вошло в историю русского лесоводства. Четверть века (с 1735 г. по 1760 г.) он проработал на лесном поприще в России. Его книга «Описание естественного состояния растущих в северных Российских странах лесов с различными примечаниями и наставлениями как оные разводить» сыграла положительную роль в подготовке лесных специалистов и для последующего развития русского лесоводства. Однако до того, как она вышла в свет, рукопись ее рассматривалась Академией наук, в соответствии с упомянутым выше распоряжением. И прежде всего судьба книги Фокеля была определена М.В. Ломоносовым, который вместе с ботаником С.П. Крашенинниковым детально ознакомился с этой рукописью.

М.В. Ломоносов высказал свои взгляды на написание учебника по лесоводству, дал соображения о подготовке специалистов лесного дела в России. Он представил доклад в Академию наук, о чем свидетельствует протокольная запись от 4 мая 1752 г. на латинском языке [13]. Сопоставление дат направления рукописи Фокеля (18 апреля 1752 г.) и ее официального рассмотрения в Академии (4 мая 1752 г.) показывает, что процедура прохождения ее в Академии заняла всего две недели (на русском языке труд Фокеля был опубликован в 1766 г.).

Протокольная запись от 4 мая 1752 г. гласит:

«4 мая. В присутствии проф. Рихмана, проф. Ломоносова, проф. Крашенинникова, проф. Гришова, проф. Попова, адъюнкта Клейнфельда.

1) ...

2) По поручению Ее Императорского Величества сегодня с прославленными академиками в том же самом составе подвергнуть обсуждению труд лесничего Фокеля Лесоводство России и сказать пригодно ли оно для изучения учащимся, и что они в этом трактате извлекут для себя поучительного. После того как это Лесоводство уже было принято прославленными академиками Ломоносовым и Крашенинниковым и ими исследовано, он (Фокель. – *И.М.*) также передал вышеуказанному собранию свое мнение.

Ввиду этого прославленные академики согласно постановили в соответствии с мнением Ломоносова и Крашенинникова указанное Лесоводство не только принять для обучения в этой науке учеников, но и признать его достойным быть изданным.

Некоторые же места, как § 181, 182, 192 и др., которые не касаются задач, поставленных автором перед собой – описание деревьев, и поэтому считаются излишними, должны быть исключены, и его предупредили, чтобы он предъявил Академии немецкий текст для рассмотрения его в русском переложении.

*Г.В. Рихман, М. Ломоносов, Степан Крашенинников,  
Никита Попов, М. Клейнфельд».*

Текст доклада, представленного М.В. Ломоносовым, к сожалению, неизвестен до сих пор. Отзыв же С.П. Крашенинникова нам удалось разыскать в архиве Академии наук СССР [1]. С.П. Крашенинников критиковал язык рукописи Фокеля («Слог в книге так темен, что местами разумети нельзя»), отмечал ошибки в ботанической классификации древесных пород и, в частности, указал, что «... сочинитель во многих местах вступает не в свое дело, как например, в рассуждение о разности родов и о цветах, показывает тем, что оного дела не знает основательно. В § 181 и 182 доказывает он, что ильм и вяз не одного рода». Указав и на другие недостатки рукописи Фокеля, С.П. Крашенинников подчеркнул вместе с тем важность разработанной в ней темы и необходимость подобных книг, «которые однакож в рассуждении недостатка лесов во многих местах весьма надобны».

Лес был объектом внимания М.В. Ломоносова; он интересовал его как ученого. В собственноручном перечне предполагавшихся работ М.В. Ломоносова значится тема «О лесах». Эта же тема фигурирует в его записке «Мнение о учреждении государственной коллегии» (1760) [5, с. 284, 315]. М.В. Ломоносова глубоко интересовала проблема сбережения лесов путем их рационального использования (разрядка всюду наша. – *И.М.*). О ней он упоминает, в частности, когда поднимает вопрос об использовании торфа в России.

В труде «О слоях земных» М.В. Ломоносов пишет: «Что турф есть в России ... Есть у нас не хуже Голландских луга, болота, топи, валежники, оброслые мхами ... Но о сем пространнее должно изъясниться в нарочном рассуждении о збережении лесов, вместо коих служат на многих местах горные уголья» [4, с. 246]. В названном труде среди объектов его научного интереса значатся леса, тундры, болота, степи. Это выдающееся научное произведение, не утратившее интереса и в наши дни, М.В. Ломоносов назвал очень скромно, как дополнение к его труду по металлургии («Прибавление Второе к металлургии»). В этом одна из причин того, что оно не было замечено своевременно.

Ломоносов предвосхитил важные положения учения о лесе. Его всеобъемлющий гений успел проявиться в вопросах, близких для лесной науки, – о воздушном питании растений, о почве (особенно о гумусе), даже о роли различных древесных пород в образовании гумуса и др.

В своем капитальном сочинении «О слоях земных» («Прибавление Второе к металлургии») М.В. Ломоносов берет сосну в качестве одного из объектов для рассуждения о происхождении чернозема: «Откудуж новой



сок сосны собирается и умножает их возраст; о том не будет спрашивать, кто знает, что многочисленные иглы нечувствительными скважинками почерпают в себя с воздуха жирную влагу, которая тончайшими жилками по всему растению расходуется и разделяется, обращаясь в его пищу и тело» [3].

Эти строки вместе с тем показывают, что на примере сосны М.В. Ломоносов затрагивает и другой важнейший вопрос науки – воздушное питание растений, причем он не сомневается в существовании воздушного питания, хотя и не в том виде, в каком оно было раскрыто наукой позднее (в конце XVIII в. – начале XIX в.) в виде фотосинтеза.

М.В. Ломоносов задумывался над вопросом воздействия электричества на растения. Он писал: «Электрическая сила, сообщенная к сосудам с травами, рращение их ускоряет». Эксперименты последних десятилетий, в том числе с древесными растениями, показывают большую перспективность его использования в растениеводстве. Таким образом, М.В. Ломоносов за 200 лет не только предвосхитил появление электрофизиологии растений, но и близко подошел к практической стороне этой проблемы.

Особенно большой интерес для лесоводственной науки представляют рассуждения М.В. Ломоносова о влиянии леса на почву. Так, он пишет: «В лесах, кои стоят всегда зелены и на зиму листа не роняют (т.е. хвойных. – *И.М.*), обыкновенно бывает земля песчаная; каковы в наших краях сосняки и ельники. Напротив того, в березниках и в других лесах, кои лист в осень теряют, больше преимуществует чернозем. А как известно, что лист на земли согнивает и в навоз перетлевет; то не дивно, что чрез них пески, глины и другие подошвы черною землею покрываются ... Сосновые, еловые и других подобных дерев иглы спадают в малом количестве, и для того не могут с листьями сравниться» [6, т. 5, с. 582].

Известно, что песчаные почвы нетипичны для еловых лесов. Лесоводственная литература до недавнего времени вообще исключала возможность существования еловых лесов на песчаных почвах. Возможно, конечно, что Ломоносов понимал песчаные почвы в широком смысле, т. е. имел в виду не только чисто песчаные почвы, но и почвы, называемые теперь супесчаными.

Однако надо отметить и то, что у нас на Севере ельники нередко произрастают не только на легких супесчаных, но даже и на песчаных почвах. Это мы наблюдали многократно, например при наших исследованиях в бассейне р. Северной Двины, особенно при исследованиях в лесах б. Холмогорского уезда, т. е. на родине М.В. Ломоносова.

Следует отметить в дополнение, что местные жители б. Архангельского и Холмогорского уездов обычно называют бором не только сосновый лес, как принято в более южных районах и в литературе, а вообще повышенное более или менее сухое место, которое может быть занято и елью; никогда северный крестьянин не назовет бором сосняк на мокрых почвах, тем более сосну по болоту.

Таким образом, указания М.В. Ломоносова о произрастании «в наших краях» на песчаных почвах не только сосны, но и ели действительно отражают довольно характерные случаи.

Между тем, за последующие полтора столетия эти факты не стали предметом должного внимания лесоводов, хотя к началу XX столетия и был получен некоторыми русскими лесоводами-практиками дополнительный материал. Лишь в XX столетии в нашей лесоводственной литературе начали появляться указания о том, что песчаные почвы не всегда бедны, при этом заметная часть этих указаний делалась в виде ссылок на иностранные источники.

В приведенной выше цитате под названием «чернозем» надо понимать гумус. Противопоставление М.В. Ломоносовым песчаных почв хвойных лесов «чернозему» березняков можно рассматривать и как сопоставление изменений в соотношении минеральной и органической частей почвы в связи с различиями в составе леса (насаждения).

Главный интерес для лесоводственной науки представляют воззрения М.В. Ломоносова по вопросу влияния различных древесных пород на образование органического вещества почвы – гумуса, не утратившие значения и до настоящего времени.

«Когда ж где и есть чернозем в ельнике, то конечно от близости и соседства других (лиственных. – *И.М.*) деревьев», – пишет М.В. Ломоносов [3, с. 529–530].

О положительном влиянии примеси лиственных пород, прежде всего березы, к хвойным и именно к ели ученые начали догадываться в XIX в., а заговорили полным голосом только в XX столетии после экспериментального изучения свойств различных подстилок. Теперь береза (наряду с другими породами) – общепризнанная почвоулучшающая порода. Данный вывод мог бы быть сделан лесоводственной наукой значительно раньше, если бы своевременно были замечены и развиты эти идеи Ломоносова.

Природная наблюдательность М.В. Ломоносова, впечатления детства, проведенного на севере среди рек, лугов, лесов, а также совершенные в это время дальние поездки в море, знание северного народа, его вековой мудрости позволили Ломоносову впоследствии дать в своих сочинениях, хотя и попутно, ряд четких определений и описаний, касающихся северной растительности.

М.В. Ломоносовым дано первое определение тундры: «Тундрами называются места мхами зарослые, кроме болот в лесу, каковыми заняты на большей части берега Северного Океана» [6, т. 5, с. 541]. Этот факт представляет огромный интерес для ботанической науки, особенно для молодой ее ветви – геоботаники. При всей краткости данного определения, с точки зрения современной науки о растительности, оно четко отделяет, например, тундру от болота, хотя смешение этих двух понятий в практике довольно широко распространено еще и теперь.

Ломоносову были знакомы явления вывала ветром «множества деревьев с корнями и с землею, в которой они выросли», эти явления он рас-

смаатривал как один из видов обнажения почвы [3, с. 495]. Примером острой наблюдательности служат описания подмывания берегов и, между прочим, следующие строки, характеризующие положение деревьев на этих берегах: «... иные деревья торчат горизонтально, и то еще дивно, что остаются немалое время зелены» [3, с. 497].

Говоря о роли огня в отношении недр земных, М.В. Ломоносов проявляет широкое понимание экономического вреда от лесных пожаров: «Производя опустошение, иногда земное недра обнажает великими пожарами лесов, кои пользе человеческой вредны, лишая употребления дерева, и сверх того ловли звериной» [6, т. 5, с. 568]. Считаясь с лесными пожарами как с геологическим фактором, он вместе с тем не переоценивает этой роли лесных пожаров (как и других видов «наружного», по отношению к недрам, огня), указывая, что «наружного огня сила простирающаяся только по некоторому расстоянию земной поверхности в сравнении подземного жару, за ничто почестся может» [3, с. 495]. К пониманию геологической роли пожаров наука только начинает подходить. Лишь недавно, полвека назад, выявлено значение лесных пожаров и палов в деградации вечной мерзлоты через послепожарные изменения растительного покрова.

М.В. Ломоносову были известны противочинготные свойства некоторых северных растений, в том числе морошки и даже сосны. Использование последней он рекомендовал в виде изготавливаемой из нее «сосновой водки», упоминает он также о противочинговых свойствах сосновых шишек, которые рекомендует употреблять во время вынужденной зимовки на Севере. Теперь доказано содержание витамина С в хвое и некоторых других частях сосны.

М.В. Ломоносов, много сделавший для развития экспедиционных исследований в России, тем самым предопределил дальнейшее изучение природных ресурсов, в частности растительности, в том числе и лесной. В своей работе «Краткое описание разных путешествий по Северным морям и показание возможного проходу Сибирским океаном в Восточную Индию» (1763 г.) М.В. Ломоносов указывал на важное экономическое значение леса в связи с проблемой освоения богатств дальневосточных окраин России. Уже после смерти Ломоносова начали осуществляться некоторые его планы географического изучения России: в 1768–1774 гг. Академия наук снарядила ряд экспедиций, возглавлявшихся П.С. Палласом, И.И. Лепехиным и др. Таким образом, истоки научного познания леса в России тесно связаны с эпохой Ломоносова.

Научные идеи Ломоносова, касающиеся леса, науки о лесе, к сожалению, долго оставались незамеченными. Но ведь та же судьба постигла Ломоносова и во многих других науках, даже в химии; лишь в начале XX в., благодаря Б.Н. Меншуткину [11], мир узнал, что закон сохранения вещества был открыт впервые Ломоносовым, на 20 лет раньше, чем Лавуазье.

Лишь в конце сороковых – начале пятидесятих годов удалось установить прямое отношение Ломоносова к лесной науке, раскрыть его бес-

спорный приоритет в весьма важных лесоводственных положениях, огромное значение его идей для развития науки о лесе [7–10 и др.].

Научные идеи М.В. Ломоносова о различной роли древесных пород в почвообразовании почти на полтора столетия опередили свое время. Только недавно в свете новейших данных лесоводственной науки и науки о почве стала понятной глубина этих идей Ломоносова, великая сила его научного предвосхищения. За последние три-четыре десятилетия появился ряд работ, значительно расширивших наши представления и о «традиционно-известном Ломоносове», т. е. в области физики, химии, истории и др. [2, 12, 14]. Мы с чувством признательности должны помнить, что он не прошел мимо и проблем, связанных с лесом, – важнейшим природным ресурсом нашей страны.

Наш великий северянин оказал непосредственное влияние на зарождение науки о лесе и лесного образования. Вполне правомерно и символично, что памятник ему в Архангельске был установлен перед зданием лесного вуза (АЛТИ, ныне АГТУ), на берегу родной реки.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Архив АН СССР. Ф. 1, оп. 2, № 1, 1752.
2. Вавилов С.И. Ломоносов и русская наука. – М., 1947.
3. Ломоносов М.В. Сочинения. Т. 2. – СПб., 1847.
4. Ломоносов М.В. Сочинения. Т. 7/ Под ред. Б.Н. Меншуткина. – М.; Л., 1934.
5. Ломоносов М.В. Избранные философские сочинения / Под ред. Г. Вассецкого. – М.: Соцэкгиз, 1940.
6. Ломоносов М.В. Полное собрание сочинений. Т. 1–10. / Гл. ред. С.И. Вавилов. – М.; Л., 1950–1959.
7. Мелехов И.С. Ломоносов и лесная наука. – Архангельск: АЛТИ, 1947.
8. Мелехов И.С. Научные воззрения М.В. Ломоносова на лес // Выдающиеся деятели отечественного лесоводства. – М., 1950.
9. Мелехов И.С. Очерк развития науки о лесе в России. – М.: АН СССР, 1957.
10. Мелехов И.С. Ломоносов и наука о лесе (к 250-летию со дня рождения Ломоносова). – Архангельск: Кн. изд-во, 1961.
11. Меншуткин Б.Н. Михайло Васильевич Ломоносов. – 3-е изд. – СПб., 1911.
12. Морозов А.А. Михаил Васильевич Ломоносов. – Л.: Лениздат, 1952.
13. Протоколы заседаний конференций Императорской академии наук. Т. 2. 1744–1770.
14. Фруменков Г.Г. М.В. Ломоносов – историк нашей родины. – Перераб. и доп. изд. – Архангельск: Сев.-Зап. кн. изд-во, 1970.

*Т.С. Буторина*

## **М.В. ЛОМОНОСОВ КАК ОСНОВОПОЛОЖНИК ВЫСШЕГО РОССИЙСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ**

Начало развитию высшего образования в России положил Петр Великий, подписав в 1724 г. указ об открытии в Санкт-Петербурге Академии наук. По замыслу царя-реформатора, она должна была заниматься и научной, и учебной работой. Для этого при Академии открывались гимназия и университет.

К моменту прихода М.В. Ломоносова в Академию университет и гимназия владели жалким существованием. Ученый с горечью констатировал, что «университетский регламент не сочинен, хотя много трудов профессорских и времени положено».

Анализируя состояние дел в Академическом университете и стремясь обеспечить страну молодыми русскими учеными, М.В. Ломоносов пришел к идее создания университета в Москве. Выступившая в истории нашей страны инициатором объединения народа в единое государство, организатором его борьбы за освобождение от иноземного ига Москва в середине XVIII в. стала крупнейшим русским городом, расположенным в наиболее населенной части страны с развитой культурой. Древняя столица сохранила свое значение центра всей России, имела фабрики и кустарные мастерские. На Московском суконном дворе работали сотни рабочих. Москва была большим торговым центром, связанным с отдельными частями России многочисленными речными и сухопутными путями [3].

В Москве существовали учебные заведения, двери которых были открыты для простых людей. Так, Спасские школы пополнялись разночинцами и долгое время служили главным источником абитуриентов для академического университета в Петербурге.

Как выпускник Славяно-греко-латинской академии М.В. Ломоносов был хорошо осведомлен об условиях для создания в Москве первого русского университета. Это отразилось в «доношении», которое было внесено в Сенат, несомненно, на основании данных, полученных от М.В. Ломоносова [3]. В «доношении» указывались следующие преимущества Москвы для устройства в ней университета: «1) великое число в Москве живущих дворян и разночинцев, 2) положение столицы в середине Русского государства, 3) дешевые средства к содержанию, 4) обилие родства и знакомства у студентов и учеников, 5) великое число домашних учителей, содержимых помещиками в Москве» [5, с. 284–294]. Учреждение университета рассматривалось в «доношении» как одна из необходимых мер для подготовки образованных людей не только из дворянства, но и из разночинцев. Разработке ломоносовской программы высшей ступени обучения способствовал личный опыт ученого по руководству академическим университетом и гимназией.

Эту программу отличали организационная четкость, научный характер содержания образования, поощрение самостоятельных занятий, высокие требования к профессорско-преподавательскому составу, озабоченность улучшением материально-бытовых условий преподавателей и студентов. Характерной чертой программы было то, что ныне мы назвали бы демократизацией высшего образования. Это прежде всего проявилось в отборе студентов. В работе «Всенижайшее мнение о исправлении Санкт-Петербургской Академии наук. 1755» М.В. Ломоносов показал, что «произведению и размножению ученых людей в России» мешает запрещение учиться «на казенный счет» посадским и крестьянским детям, «будто бы сорок алтын толь великая и казне тяжелая была сумма, которой жаль потерять на приобретение ученого природного россиянина, и лучше выписывать! Довольно бы и того выключения, чтобы не принимать детей холопских». «Приращение наук», по его, мнению, тормозится малым количеством школьников и студентов. М.В. Ломоносов правильно считал, что в гимназии должно быть в несколько раз больше обучающихся, чем в университете: «Не всякий школьник произойти может в студенты, как не всякий студент – в профессора». В других государствах, отмечал М.В. Ломоносов, в университетах насчитываются тысячи студентов. В русском университете «почти никого не бывает», так как отсутствуют его статус, программа, четкое организационное построение, привилегии. Его возмущало такое положение, при котором в России не могли учиться многие одаренные люди из низких сословий, «положенные в подушный оклад». М.В. Ломоносов отмечал, что «другие европейские государства наполнены людьми учеными всякого звания, однако ни единому человеку не запрещено в университетах учиться, кто бы он ни был, в университете там студент тем почетнее, кто больше научился, а чей он сын, в том нет нужды».

Ученый был сторонником внедрения в университетское образование идей народности и бессловности. Народность выражалась в том, что преподавание велось преимущественно на русском языке. Кроме того, была образована значительная группа русских профессоров, боровшихся за передовую науку, национальное просвещение и демократическую педагогику. Московский университет не был привилегированным учебным заведением. Весь первый состав студентов состоял из разночинцев.

Демократизм и народность М.В. Ломоносова проявились и в решении такого вопроса, как выпуск «комментариев» Академии и печатание всех диссертаций в русском переводе. До представления М.В. Ломоносовым в Канцелярию специального документа от 3 февраля 1761 г. все научные статьи и их «сокращения» публиковались на латинском языке. Этим ограничивался доступ к науке людей, стремившихся к образованию. По мнению М.В. Ломоносова, краткие изложения научных трудов должен составлять сам автор. Важным условием действительности подобных выпусков ученый считал регулярность и быстроту появления. Такое оперативное издание позволит студентам быстрее знакомиться с трудами профессоров, и «общество российское не останется без пользы».

До М. В. Ломоносова студентов обучали на немецком и латинском языках. «Ломоносов, Крашенинников и другие передовые русские ученые прекрасно понимали, что без перехода на русский язык нечего и думать о сколько-нибудь широком распространении образования, о его доступности и демократизации. Ломоносов добился того, чтобы в Московском университете русские профессора читали лекции только на русском языке» [1, с. 111].

Демократизация высшего образования предполагала, по мнению М.В. Ломоносова, изменения в управлении университетом: «Бразды университетского правления должны быть вручены проректору, который избирается ежегодно из числа профессоров и которого за его особые труды следует почтить более значительным повышением жалованья против обычного» [4, т. 10, с. 123]. Университет должен быть автономен, освобожден от полицейского постоя, сборов, иметь свой суд.

Ведущим принципом ломоносовской программы был принцип научности в высшем образовании. Перед университетами в качестве главной задачи М.В. Ломоносов ставил развитие науки и популяризацию научных знаний через печать, лекции, диспуты, работу библиотек и т. д. [5, с. 139]. По его мнению, университеты должны быть ведущими в стране научно-учебными центрами, которые оказывали бы решающее влияние на развитие науки и распространение просвещения в России. Поэтому при разработке плана создания Московского университета он определил не только его структуру, перечень факультетов, но и число профессоров, дисциплины, которые следовало изучать [4, т. 10, с. 513].

М. В. Ломоносов раскрыл такой важный вопрос, как содержание образования в высшей школе. На медицинском факультете он считал необходимым иметь трех профессоров (химии, «натуральной» истории, анатомии), на философском – шестерых (философии, физики, риторики, поэзии, истории древностей и критики).

Он предложил по-новому осуществлять юридическое образование, ввел преподавание русского права. Базой для других факультетов являлся философский. Лишь окончив его, можно было стать студентом другого факультета.

В 1759 г. в «Плане регламента, проекте штата» академического университета М.В. Ломоносов предложил открыть одиннадцать кафедр вместо пяти по штату 1747 г. Для Московского университета в 1754 г. он планировал двенадцать кафедр. Основным отличием плана 1759 г. было разделение университета на три факультета и студентов на три класса (курса). Несколько своеобразной была программа обучения, разработанная ученым. В нее вошли русское право, химия, ботаника, анатомия, восточные языки.

В 1764 г. М.В. Ломоносов опубликовал «Предположения об устройстве и уставе Петербургской академии». В § 8 данного документа он углубил собственное понимание вопросов содержания высшего образования: «Для сохранения людского здоровья и для попечения о нем нужно основать факультет медицинский. Для увеличения общественного благосостояния и

для создания разных жизненных благ необходимо устроить факультет философский. На юридическом факультете должны быть лекции: 1) исторические, для ознакомления с правом народов, что в других местах напрасно относят к ведению факультета философского; 2) по практической философии; 3) по политике; 4) по публичному и частному праву; 5) русское право. На медицинском факультете должны читаться: 1) анатомия с физиологией; 2) химия; 3) ботаника; 4) практическая медицина. На философском факультете следует обучать слушателей: 1) обоим красноречиям; 2) должен быть прочитан курс всеобщей философии; 3) также математики; 4) должна быть изложена экспериментальная и догматическая физика; 5) механика; 6) астрономия» [4, т. 10, с. 123].

Таким образом, М.В. Ломоносов обосновал содержание высшего образования на основе принципов научности и светскости. В этом вопросе он пошел дальше западноевропейских университетов, раскрыв прогрессивность проводимых им преобразований: «Так как во всех университетах деление на факультеты бывает сообразовано с государственными учреждениями, то и здесь, отказавшись от богословского круга наук в пользу Святейшего Синода, каковые науки преподаются только в подведомственных ему школах...» [Там же].

В «Плане регламента, проекте штата» академического университета от июля 1759 г. М.В. Ломоносов еще раз вернулся к вопросу о светскости образования: «Духовенству к учениям, правду физическую для пользы и просвещения показующим, не привязываться, а особливо не ругать наук в проповедях» [4, т. 9, с. 539].

Основным принципом функционирования факультета («главным основанием»), по мнению М. В. Ломоносова, должен являться принцип общественной потребности в кадрах. Он заключался в том, что при установлении числа университетских кафедр следовало исходить не из количества имеющихся в данное время кандидатов, пригодных для замещения профессорских вакансий, а из потребностей страны. Это необходимо для того, чтобы «план университета служил во все будущие годы». Выдвигая его, М.В. Ломоносов использовал опыт организации европейских университетов, личный опыт обучения во Фрейберге и Марбурге.

Особой составной частью ломоносовской программы являлся вопрос о кадрах преподавателей. Он стремился к тому, чтобы для преподавания в университете отбирать ученых, способных «не только сообщить учащимся известное, но исследовать и открывать то, что еще неизвестно»; считал важной расстановку научных кадров для избежания перевеса или отставания в какой-либо области.

«Ради поощрения в ученых ревности к занятиям следует выбирать и утверждать университетских профессоров из числа академиков с тем, чтобы они поучали студенческую молодежь...» [4, т. 10, с. 123]. М.В. Ломоносов первым предложил принципиально новый подход к комплектованию научно-педагогических кадров высшей школы, основанный на принципе выборности. Это давало возможность отбирать для работы в университете дейст-



вительно достойных людей. Кроме того, именно М.В. Ломоносов впервые претворил в жизнь идею соединения преподавательской и научной деятельности. В этом состоит его огромная заслуга как ученого, педагога, организатора образования.

В «Записке о необходимости преобразования Академии наук» (1758–1759 гг.) М.В. Ломоносов проанализировал требования к личности ученого и преподавателя высшей школы.

М. В. Ломоносов вел постоянную борьбу за увеличение числа преподавателей русского происхождения. При этом «природные россияне» должны иметь солидную научную подготовку. Подлинным педагогом, по его мнению, может быть лишь гражданин-патриот, глубоко преданный Родине, науке, просвещению. Ломоносов указывал, что для исправления дел в Академии и университете нельзя давать власти над наукой малоученым людям, «чужестранным», в которых «некоторое к ученым россиянам недоброжелательство примечено». Он ратовал за содружество ученых как в научной, так и преподавательской деятельности: «Вольность и союз наук необходимо требуют взаимного сообщения и беззавистного позволения в том, что кто знает упражняться. Слеп физик без математики, сухорук без химии».

Раскрытию психолого-педагогического механизма методики чтения лекций посвящена работа М.В. Ломоносова о возбуждении, утолении и изображении страстей в «Кратком руководстве к красноречию» [4, т. 7, с. 89–378]. Он разработал бесценные педагогические, психологические и методические приемы воздействия на слушателей, достижения положительных результатов в обучении, одним из первых показал колоссальные возможности лекции как метода преподавания в высшей школе. Он указывал, что всего этого возможно достичь лишь «искусному ритору». По существу М.В. Ломоносов поставил проблему педагогического мастерства преподавателя вуза.

Важный раздел ломоносовской программы – ее положения о методической оснащенности преподавания. М.В. Ломоносов создал работы, которые служили для нескольких поколений студентов основными учебными пособиями по физике, химии, красноречию, истории и другим дисциплинам. При их написании он руководствовался такими дидактическими принципами, как научность, доступность, последовательность. Основным источником знаний, по мнению ученого, является опыт, поэтому он придавал особое значение практическим и лабораторным методам обучения. Не умаляя роли словесных методов, М.В. Ломоносов считал наиболее ценными поисково-исследовательские методы обучения, предлагая студентам проводить собственные исследования, учиться выдвигать гипотезу, делать теоретические обобщения. Заботясь о расширении научного и практического кругозора молодых людей, он, например, ввел новый способ изучения химии, соединив теоретические лекции с практическими занятиями и экспериментальными исследованиями. В работе «Введение в истинную физическую химию» он описал методику организации таких занятий, указав последовательность действий обучающихся: «1) определять удельный вес химических

тел; 2) исследовать взаимное сцепление частей: а) путем излома, б) путем сдавливания, в) путем стачивания на камне, г) для жидкостей – путем счета капель; 3) описывать фигуры кристаллизующихся тел; 4) обрабатывать тела длительным нагреванием при помощи Папиновой машины; 5) всюду наблюдать градусы теплоты; 6) изучать тела, особенно металлы, продолжительным растиранием. Одним словом, я предполагаю сделать попытку исследовать все, что может быть изучено, взвешено и определено математической практикой» [4, т. 2, с. 573–577].

Заботясь о расширении научного и практического кругозора молодых людей, М.В. Ломоносов знакомил их с научными основами производства. Фактически первым он внедрил элементы политехнического образования в практику обучения. Так, в «Ордере Я.Ф. Шмидту о практических занятиях по геодезии с геодезистами и студентами географического департамента» от 5 июня 1762 г. [4, т. 9, с. 255–256] М.В. Ломоносов рекомендовал ввести три практических занятия по предмету в неделю, используя разные точки города. Благодаря этому у студентов формировались практические умения и навыки, творчество, исследовательские качества.

В учебной работе университета применялись разнообразные методы преподавания. Большинство профессоров стремились дать своим слушателям прочные, основательные знания. Главной формой обучения считались лекции. «Профессорские лекции делились на публичные и частные. Каждый профессор обязан был ежедневно (кроме воскресения и субботы) не менее двух часов читать публичные лекции для всех слушателей. На эти лекции стекалось большое количество слушателей (среди которых было немало женщин). Профессора читали лекции по учебникам, утвержденным университетской конференцией. Частные курсы читались для желающих» [2, с. 144–145]. Кроме лекций, преподаватели вели практические занятия в анатомическом театре, непосредственно на местности, делались переводы, сочинения и т. д. Особое место занимали диспуты. Они проходили в последнюю субботу месяца. В конце каждого полугодия перед наступлением «вакаций» диспуты проводились публично в присутствии любителей наук. «Диспуты оказывали положительное влияние на развитие студентов. Они воспитывали активность, волевые качества, развивали память» [2, с. 144]. Широкая научная тематика диспутов, чтение профессорами публичных лекций раскрывали общественный характер деятельности университета.

М.В. Ломоносов предусмотрел последовательность изучения наук, объем учебного материала, предлагал вести обучение студентов систематически, постепенно усложняя материал.

Содержание высшего образования, методы преподавания, требования к специалистам в условиях России М.В. Ломоносов соотносил с имеющимся общеевропейским опытом и уровнем, стремился преодолеть отставание в развитии русской высшей школы от западноевропейской.

Программа М.В. Ломоносова предусматривала и работу по нравственному воспитанию молодых людей. Главным условием в воспитании он считал «крайнее прилежание» к наукам. Занятые учебной работой студенты не долж-

ны следовать никаким устремлениям, «чтобы рачение к учению урон или малое ослабление потерпели». Он советовал им беречь «золотое молодых лет время», упорно заниматься наукой, рекомендовал формировать в студентах патриотизм, потребность жить «для пользы Отечества».

М. В. Ломоносов был сторонником воспитания таких качеств, как скромность, вежливость, уважение к старшим и друг к другу, честность. Особо он выделял трудолюбие, прилежание, упорство, целенаправленность. Источником нравственных знаний Ломоносов считал общение студентов друг с другом, с преподавателями, ограждение молодежи от людей с нравственными изъянами, от которых «учтивым поступкам научиться нельзя». М.В. Ломоносов ратовал за индивидуальный подход к студентам, большое внимание уделял способным молодым людям. Так, в «Репорте в Канцелярию АН об успехах студентов, занимавшихся под руководством Ломоносова поэзией и химией» от 5 февраля 1753 г. [4, т. 9, с. 442–443] он писал, что особые успехи в поэзии обнаружил Николай Поповский, который сочинял стихи на заданные темы, овладевал искусством перевода. В связи с успехами в учении он рекомендовал отличить Поповского «от общежития и от других студентов» квартирой, чином, жалованьем. В августе 1753 г. под влиянием М.В. Ломоносова И.И. Шувалов вмешался в определение судьбы Н. Поповского, который был назначен помощником ректора и руководителем «верхнего латинского класса», а в 1755 г. переведен на службу в Московский университет и стал его профессором.

Осуществляя индивидуальный подход к студентам, М.В. Ломоносов советовал чаще использовать методы поощрения. Так, он хлопотал о прибавке жалованья И. Лепехину, который впоследствии стал известным ученым-путешественником, академиком Петербургской АН. Сохранилась выписка из журнала Канцелярии АН «о награждении некоторых студентов шпагами». В 1750 г. президент Академии К.Г. Разумовский на публичной ассамблее наградил шпагами двенадцать студентов «за прилежное обучение и за добрые поступки». Это стало традицией, которою очень дорожили студенты. Ее поддержал и М.В. Ломоносов.

Он стремился использовать и такую форму поощрения, как продолжение учебы некоторых студентов за границей. 2 июня 1764 г. М.В. Ломоносов написал представление в Канцелярию АН по данному вопросу, отметив, что за последние четыре года в студенты произведено двадцать человек. Семь из них показали особые успехи, поэтому М.В. Ломоносов рекомендовал послать их за границу для продолжения образования. В этих целях он предложил на каждого студента выделять годовое жалованье в триста рублей, а при переездах увеличивать до четырехсот. М.В. Ломоносов доказывал необходимость обучения за границей «природных россиян» и определил их число: не менее десяти человек за пять лет. Такая мера позволяла подготовить способных русских ученых и отказаться от приглашения иностранных специалистов.

При разработке программы высшего образования М.В. Ломоносов особо выделил вопрос о создании хорошей материальной базы для

преподавания. По его настоянию, например, в Московском университете работали библиотека, физический кабинет, химическая лаборатория, минералогический кабинет и др. В них имелись хорошие условия для проведения научных исследований, практических работ профессоров и студентов. М.В. Ломоносов ратовал за создание подобных условий и в академическом университете.

Большое значение в народном просвещении имело открытие типографии при Московском университете. Она позволила с 1755 г. развернуть огромную работу по изданию учебной, научной, философской, общественно-политической и художественной литературы и начать издание второй в России газеты «Московские ведомости». В типографии были напечатаны произведения Шекспира, Мольера, Гольдони, Сервантеса, Яна Амоса Коменского, Руссо, Вольтера, Дидро, Шиллера и др. Систематически и быстро издавались речи и «слова» профессоров, которые произносились на торжественных собраниях в честь официальных дат. Передовые ученые сумели использовать их как трибуну для пропаганды материалистических идей.

М.В. Ломоносов проявлял большую заботу об обеспечении студентов учебниками. 18 мая 1761 г. он подготовил определение в Канцелярию АН о новом порядке снабжения студентов и гимназистов учебниками [4, т. 9, с. 579–580]. По предложению С.К. Котельникова разрешалось выдавать и даже выписывать из-за границы учебники без обращения в Канцелярию. С мая 1761 г. книги со склада стали выдавать в упрощенном порядке.

Для студентов (и для гимназистов) было открыто общежитие, организовано питание, они обеспечивались одеждой. М. В. Ломоносов регулярно ездил в общежитие и наблюдал за жизнью, порядком, отношением к учению молодых людей.

Важным условием развития высшего образования М.В. Ломоносов считал четкую организацию всего дела. Он предложил нескольким ученым подготовить «Регламент Академии наук». Этот документ, по его мнению, должны были разрабатывать люди, основательно научно подготовленные через обучение как в России, так и в других государствах, «природные россияне» или отданные «в российское подданство вечно», не являющиеся участниками «нынешнего испорченного академического состояния», не имеющие родственников в академической службе. В «Регламенте» М.В. Ломоносов представлял Академию, университет и гимназию как единое целое. Он был сторонником преемственности и содержательного единства среднего и высшего образования и стремился к созданию системы подготовки научных кадров российского происхождения, которая отвечала бы социально-экономическим потребностям страны.

М.В. Ломоносов отстаивал идею обязательности инаугурации университета – западноевропейской традиции, без соблюдения которой учебное заведение не могло быть признано университетом, а присужденные им ученые степени обесценивались. Он стремился придать университету международный авторитет, добивался того, чтобы выпускники отечественного уни-

верситета имели высокий статус среди иностранных ученых. По его мнению, инаугурация должна «воодушевить университет на успех», привлечь способную молодежь к учению.

В ломоносовской программе высшего образования большой интерес представляет перечень университетских привилегий. Ученый считал, что университет должен иметь право присуждать ученые степени («градусы»), а университетские должности следует приравнять к чинам, установленным «Табелью о рангах». М.В. Ломоносов предусмотрел избавление Академии и университета от вмешательства полиции. Он ратовал за создание благоприятных условий для проведения научной деятельности; предложил узаконить по примеру других стран, каникулы с сохранением преподавателям жалования; высказал мысль о выделении Академии «особой мызы» с землями и угодьями, где академики могли бы проводить летний отдых, вести физические наблюдения, устраивать опыты; предлагал улучшить материальные условия жизни семей ученых, вдов и их детей; заботился о сохранении здоровья всех членов Академии. При этом М.В. Ломоносов подчеркивал, что все эти «свободы и преимущества» направлены на пользу и расцвет русской науки.

Как основоположник системы высшего образования в России М.В. Ломоносов внес неоценимый вклад в ее теоретическую и практическую разработку. Ему принадлежит приоритет в рассмотрении вопросов педагогики высшей школы. Он разработал специальную программу, в которой отразил педагогические идеи обучения и воспитания студентов, требования к личности преподавателя, материальной базе университета. М. В. Ломоносов сам являлся образцом преподавателя, был великолепным лектором, владевшим различными методами обучения и воспитания. В этом состоит его непреходящее значение как педагога. Обращение к идеям и опыту М. В. Ломоносова позволяет существенно обогатить представление наших современников о состоянии высшей школы в XVIII в., осмыслить традиции российских университетов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Белявский М.Т.* Ломоносов наш первый университет. – М.: МГУ, 1961.
2. *Бобровникова В.К.* Педагогические идеи и деятельность М.В. Ломоносова. – М.: АПН СССР, 1961.
3. История АН СССР (1724–1803) / Под ред. К.В. Островитянова. – М.; Л.: АН СССР, 1958. – Т.1.
4. *Ломоносов М.В.* Полное собрание сочинений: В 11 т. / Под ред. С.И. Вавилова. – М.; Л.: АН СССР, 1950–59, 1983.
5. Полное собрание Законов Российской Империи с 1649 г.: В 45 т. – СПб., 1830. – Т. 14.

Архангельский государственный  
технический университет

---

*С.И. Третьяков*

## ЛОМОНОСОВ И ХИМИЯ

Чем дальше уходит в прошлое эпоха Ломоносова, тем более поражает нас всеобъемлющий ум и разносторонняя деятельность этого великого ученого.

М.В. Ломоносов предстает перед нами как многогранная личность, отразившая все особенности бурного развития производительных сил России в XVIII в. Его творческая деятельность отличается как исключительной широтой интересов, так и глубиной проникновения в тайны природы. Он был естествоиспытателем, философом, поэтом, основоположником русского литературного языка, историком, географом, политическим деятелем.

Особое его внимание привлекала химия. В предисловии к «Вольфианской экспериментальной физике» он пишет: «Изыскание причины цветов... мне всегда было приятнее всех физических исследований, особливо ж для того, что оно больше зависит от химии, моей главной профессии».

Являясь одним из основателей химии как науки, он отмечал: «Изучение химии имеет двоякую цель: одна – усовершенствование естественных наук, другая – умножение жизненных благ». До М.В. Ломоносова химия была в начальной стадии развития. Она считалась скорее «искусством», где главное состояло в том, чтобы разлагать сложные тела на более простые и получать из простых сложные. При этих химических операциях не учитывалось, в каком количестве и в каких пропорциях соединяются тела. Химия целиком базировалась на идеалистических представлениях. Поэтому не удивительно, что в зависимости от «искусства» химика при разложении вещества получались разные продукты. Значительные трудности были связаны с отсутствием представления о чистом веществе.

Важнейшей заслугой М.В. Ломоносова является превращение химии из «искусства» в точную науку. Он дает ей ясное определение, которое совпадает с нашими современными воззрениями: «Химия – наука об изменениях, происходящих в смешанном теле, поскольку оно смешанное. ... Так как в науке принято досказывать утверждаемое, то и в химии все высказываемое должно быть доказано».

Его труды стали рубежом в развитии науки, отделяющим натурфилософию от экспериментального естествознания. До 1748 г. Ломоносов занимался преимущественно физическими исследованиями, а в период 1748–1757 гг. его работы посвящены главным образом решению теоретических и экспериментальных вопросов химии. Ломоносов изложил (1741–1750 гг.) основы своего корпускулярного (атомно-молекулярного) учения, получившего развитие лишь спустя столетие; показал (1744–1752 гг.) необходимость привлечения физики для объяснения химических явлений и предложил название для теоретической части химии – «физическая химия», а для практической части – «техническая химия»; об-

ратил внимание (1756 г.) на основополагающее значение закона сохранения массы вещества в химических реакциях.

Он был зачинателем применения математических методов исследования в химии. Первой его работой в этой области является смелый и оригинальный труд «Элементы математической химии», относящийся к 1741 г.

Развивая атомистические представления, он впервые высказал мнение о том, что тела состоят из «корпускул», а те, в свою очередь, из «элементов»; это соответствует современным представлениям о молекулах и атомах. В 1742–1744 гг. он пишет диссертацию «О нечувствительных физических частицах, составляющих тела природы», в которой разрабатывает атомно-молекулярное учение. А в 1745 г. представляет диссертации «О действии химических растворителей вообще» и «О причине теплоты и холода», рассматривая в последней механическую теорию теплоты.

В 1748 г. М.В. Ломоносов в письме к Леонарду Эйлеру формулирует «всеобщий закон природы – сохранение материи (вещества) и движения (энергии)». В этом же году он пишет сочинение «Опыт теории упругости воздуха», в котором развивает кинетическую теорию газов. В 1751 г. им прочитано «Слово о пользе химии».

В 1752–1754 гг. создает и читает в Петербургской академии наук курс «истинной физической химии». Важное значение в этот период имеет работа «Введение в истинную физическую химию».

В учрежденной и руководимой им химической лаборатории Петербургской АН были разработаны методики точного взвешивания, применялись объемные методы количественного анализа.

Проверяя опыты Р. Бойля для выяснения причин увеличения веса металлов при обжигании, М.В. Ломоносов проводил обжиг металлов в запаянных сосудах (1756 г.) и показал, что их вес после нагревания не изменяется, а мнение известного ученого о присоединении тепловой материи к металлам ошибочно.

В 1758 г. он представил диссертацию «Об отношении количества материи и веса». Михаил Васильевич изучал жидкое, газообразное и твердое состояние тел. Достаточно точно определил коэффициенты расширения газов. Исследовал растворимость солей при разных температурах и влияние электричества на растворы солей, установил факты понижения точки замерзания раствора по сравнению с чистым растворителем. Проводил различие между процессом растворения металлов в кислоте, сопровождающимся химическими изменениями, и процессом растворения солей в воде, происходящим без химических изменений растворяемых веществ. Создал различные приборы (вискозиметр, прибор для фильтрования под вакуумом, прибор для определения твердости, газовый барометр, пирометр, котел для исследования веществ при низком и высоком давлениях), достаточно точно градуировал термометры.

М.В. Ломоносов не только по-новому определил роль и значение химии и ее место среди других наук, изучающих природу, но и не мыслил себе развитие химии вне связи с практическими задачами. В работе «Слово

о пользе химии» он справедливо подчеркивает, как «широко простирает химия руки свои в дела человеческие». В этом замечательном труде он так определяет связь науки и практики: «... науки художествам (ремеслам) путь показывают; художества происхождение наук ускоряют».

Он был создателем многих химических производств (неорганические пигменты, глазури, стекла, фарфор). Разработал технологию и рецептуру цветных стекол, которые он употреблял для создания мозаичных картин, и предложил метод изготовления фарфоровой массы. Занимался анализом руд, солей и др. В труде «Первые основания металлургии, или рудных дел» (1763 г.) рассмотрел свойства различных металлов, дал их классификацию и описал способы получения. Наряду с другими работами по химии этот труд заложил основы русской химической терминологии.

Ломоносов занимался вопросами образования в природе различных минералов и нерудных тел. Высказал идею биогенного происхождения гумуса почвы. Доказывал органическое происхождение нефти, каменного угля, торфа и янтарей. Описал процессы получения железного купороса, квасцов, серной, азотной и соляной кислот, меди из медного купороса, серы из серных руд (в работе «О рождении и природе селитры»).

Первым из русских академиков М.В. Ломоносов приступил к подготовке учебников по химии и металлургии («Курс физической химии», 1754; «Первые основания металлургии, или рудных дел», 1763).

Мысли и мечты М.В. Ломоносова о развитии химии и химической промышленности находят претворение в наши дни, в частности, на родине ученого.

Его гениальное предвидение о том, что в северных земных недрах «богато царствует натура», оправдывается. В настоящее время в Архангельской области обнаружены нефть, газ, алмазы, крупнейшие в мире северо-онежские запасы бокситов и много других природных богатств.

Благодаря исследованиям русских и советских ученых-историков все просвещенное человечество отдает дань признательности заслугам нашего великого ученого, а его соотечественники и, тем более, земляки-северяне, всегда помнят о нем с особым уважением и гордостью.

Архангельский государственный  
технический университет

---



## ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 630\*232.311.1

***Е.Н. Наквасина, Т.В. Бедрицкая, О.А. Гвоздухина***

Наквасина Елена Николаевна родилась в 1952 г., окончила в 1975 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры ботаники и общей экологии Поморского государственного университета. Имеет около 90 печатных работ в области лесных культур и лесного семеноводства.



Бедрицкая Татьяна Васильевна родилась в 1963 г., окончила в 1985 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры ботаники и общей экологии Поморского государственного университета. Имеет около 20 печатных работ по изучению географической изменчивости хвойных пород и созданию лесосеменных плантаций северных экотипов сосны в более южных климатических условиях.



Гвоздухина Ольга Альбертовна родилась в 1972 г., окончила в 1995 г. Архангельский государственный технический университет, инженер лаборатории лесных культур Северного НИИ лесного хозяйства. Область научных интересов – изучение географической изменчивости хвойных на Европейском Севере.



### **СЕЛЕКЦИОННАЯ ОЦЕНКА КЛИМАТИПОВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ГЕОГРАФИЧЕСКИХ КУЛЬТУРАХ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ**

Приведены результаты исследования приживаемости, роста и продуктивности климатипов сосны обыкновенной в 21-летних географических культурах Архангельской области. По запасу древесины на корню лучшими являются местный и близкие к нему климатипы из Карелии, а также потомства среднетаежных сосен из Вологодской и Тюменской областей.

климатип, сосна, приживаемость, рост, продуктивность.

Изучение разнообразия форм, географической и экологической изменчивости древесных пород имеет важное значение в теории и практике лесоводства. Сравнительное испытание климатических экотипов проводится в так называемых географических культурах. Оценка роста и устойчивости популяций позволяет для каждого конкретного региона выделить экотипы, использование которых даст лесоводственный эффект при создании искусственных насаждений. В свою очередь, эти данные служат основанием для разработки лесосеменного районирования, регламентирующего переброски семян в лесокультурных целях.

Начало создания географических культур относится к XVIII в. [1, 16]. В Архангельской области такие культуры сосны впервые были заложены семенами весной 1959 г. в учебно-опытном лесхозе АЛТИ по инициативе П.И. Войчаля [2]. Первые на Европейском Севере они были невелики по площади (2 га), но довольно представительны по количеству образцов. До этого самыми северными географическими опытами в стране были культуры в Охтенской даче под Ленинградом [16].

Весной 1963 г. В.Я. Попов заложил повторный опыт семенами сосны, полученными из 30 пунктов таежной зоны на площади 1,1 га [17]. Эти культуры систематически обследовались. Параллельно изучались производственные культуры, созданные из инорайонных семян. Данные неоднократно освещались в литературе [2–4, 14, 17–20]. Были сделаны первые предложения по ограничению перебросок семян сосны для использования в лесовосстановлении на Европейском Севере. К сожалению, географические культуры 1959–1963 гг. ныне утрачены.

В настоящее время, пожалуй, единственными объектами по изучению географической изменчивости основных лесообразующих пород в области остаются опытные посадки государственной сети географических культур, созданные Архангельским институтом леса и лесохимии в 1977–1978 гг. совместно с Плесецким лесхозом. Посадки двухлетних сеянцев, выращенных в питомнике лесхоза, были проведены под руководством ст. научного сотрудника Т.С. Неподобьевой. Общая площадь культур, заложенных в Пуксинском лесничестве на вырубке 50-х гг. из-под ельника черничного, составила 46 га, в том числе сосны – 8,4 га. Сеянцы высаживали рядами под меч Колесова в сплошь (1977 г.) или частично (1978 г.) обработанную почву. Расстояние между рядами культур 2,5, в ряду между растениями 0,7 м.

Испытывали 44 варианта потомств сосны различного географического происхождения. Самые северные популяции, потомство которых испытывается в опытах, располагаются на широте 68 ° с.ш. (Мурманская область), самые южные – 55 ° с.ш. (Московская область). В долготном направлении разлет географических координат исходных насаждений составил от 29 до 130 ° в.д.

Обследование географических культур проводилось на различных возрастных этапах [10–13, 15, 22]. Результаты исследований были использованы для разработки лесосеменного районирования региона [21], включен-

ного в нормативные документы [9]. Более поздние результаты изучения устойчивости, роста и продуктивности климатипов (в 15-летнем возрасте) позволили уточнить регламентации перебросок семян на Европейском Севере и в его пределах [13].

В данной работе впервые приводятся результаты обследования географических культур сосны старше I класса возраста, расположенных в Плесецком лесхозе Архангельской области.

Обследование культур проведено авторами совместно с сотрудниками СевНИИЛХа (Л.И. Ермолаева) и студентами естественно-географического факультета Поморского государственного университета (Н. Дубасова, Ю. Хорева, М. Жаринова, М. Двизова, И. Вахрушева).

*Методика проведения работ.* Географические культуры изучали по методике, разработанной ВНИИЛМом и утвержденной решением Проблемного Совета по лесной генетике, селекции и семеноводству [5]. При анализе роста культур и изменчивости потомства использовали также методики Н.П. Кобранова [8], А.И. Ирошникова и др. [7].

Определяли приживаемость, рост и продуктивность сосны. Учет сохранившихся деревьев проводили на учетных рядах. В тех случаях, когда на блоке сохранилось менее половины особей, пересчет был сплошным. Деревья разделяли на здоровые, сомнительные, погибшие. По возможности устанавливали причину отпада.

В каждом варианте проводили пересчет не менее 150 деревьев по диаметру на высоте груди с точностью 1 см. Если в климатипе число деревьев было меньше, обследовали все особи. Среднюю высоту климатипа определяли по графику высот. Для его построения измеряли высоты и диаметры не менее чем у 25 деревьев различной толщины, в соответствии с их представленностью. Выравнивание опытных данных (методом наименьших квадратов) и расчет статистических показателей проводили на компьютере в программе Excel (Word 6,0).

По полученным данным рассчитывали продуктивность климатипов, за показатель которой принят запас древесины на корню (в коре) в расчете на число сохранившихся растений. Объем ствола определяли по формуле, предложенной Л.Ф. Ипатовым [6] для маломерных деревьев высотой более 4 м (в черничном типе леса):

$$M = g_{1,3} (0,46H + 1,016).$$

Показатель относительной продуктивности имеет преимущества при мелкоделяночных опытах, поскольку снижается ошибка при перерасчете на исходную густоту культур на 1 га. В то же время появляется возможность пользоваться исходными результатами при сравнительных оценках.

*Анализ результатов.* Исследования, проведенные в 21-летних географических культурах, позволили выявить сильное влияние наследственных особенностей климатипов на их рост и выживаемость в новых условиях среды.

В первые годы после посадки культур перераспределение рангов по выживаемости происходило прежде всего за счет их снижения у южных

Таблица 1  
**Результаты ранговой корреляции приживаемости и высоты 21-летних культур сосны различного географического происхождения ( $t_{0,05} = 2,04$ )**

Показатели связи	Приживаемость, %, в возрасте культур, лет			Высота, м, в возрасте лет		
	3...21	5...21	11...21	6...21	11...21	15...21
Коэффициент корреляции $r$	0,810	0,846	0,957	0,230	0,010	0,449
Ошибка коэффициента корреляции $\pm m$	0,129	0,143	0,180	0,186	0,196	0,156
Достоверность $t$	6,30	6,03	5,33	1,24	0,05	2,88

Таблица 2

**Выживаемость климатипов сосны в географических культурах Архангельской области**

Происхождение семян		Число вариантов	Приживаемость, %, на год от посадки культур				Отпад за последние 10 лет, %
Лесорастительная зона (подзона)	Часть света		3-й	5-й	11-й	21-й	
Северотаежная	Европа	4	89,7	88,0	82,6	70,7	11,9
Среднетаежная	«	6	79,3	76,0	64,9	60,0	4,9
	Азия	4	71,1	63,2	29,4	19,4	10,0
Южнотаежная	Европа	5	46,4	37,3	20,0	18,5	1,5
	Азия	3	58,2	43,1	17,0	12,5	4,5
Смешанные леса	Европа	3	23,4	13,1	7,0	6,9	0,1

климатипов, позднее – у восточных и сибирских. Начиная со 2-го десятилетия роста в культурах сосны наблюдается стабилизация по приживаемости, коэффициент корреляции достигает 0,957 (табл.1). В культурах сосны Плесецкого лесхоза, перешагнувших рубеж I класса возраста, как и в более раннем возрасте, высокую выживаемость имеют самые северные (северотаежные) климатипы из Мурманской, Архангельской областей и Республики Карелии. Однако в последние годы отпад составил 11,9 %, что связано, по нашему мнению, с повреждением культур раком-серянкой.

Наименьший отпад за последние годы наблюдался в климатипах из южной подзоны тайги и зоны смешанных лесов, имеющих в настоящее время приживаемость 5 ... 19 % (Костромская, Ленинградская, Новгородская, Калининская области и Удмуртия). Здесь интенсивный отпад происходил с первых лет после посадки на лесокультурную площадь (табл. 2). Сосна из Горьковской, Владимирской областей полностью погибла в течение первого десятилетия роста потомства. В настоящее время самую низкую приживаемость имеют климатипы азиатского происхождения из Якутии, Иркутской, Свердловской, Тюменской областей (0,4 ... 9,0 %).

В то же время стабилизация рангового положения климатипов по росту не закончена (см. табл.1), хотя и наблюдается значительное укрепление позиций отдельных потомств. Наиболее интенсивно ранги изменялись

во втором десятилетии роста культур. В этот период лучше росло потомство сосны местного происхождения.

К 21-летнему возрасту культур преимущество по высоте получила группа европейских средне- и южнотаежных климатипов (табл. 3). Лучшим ростом, по сравнению с местным климатипом, отличается сосна из Ленинградской области (средняя высота 7,7 м), однако ее приживаемость составляет всего 16,4 %. Преимущество в развитии сохранившихся единичных конкурентоспособных особей объясняется, видимо, оптимальным освещением при редком стоянии, что позволило реализовать генетически заложенные возможности популяции.

Таблица 3

**Рост и продуктивность климатипов сосны в географических культурах  
Архангельской области ( $t_{\text{табл}} = 1,98$ )**

№ климатипа	Происхождение семян		Средняя высота, м	Средний диаметр на 1,3 м, см		Объем ствола, дм <sup>3</sup>	Запас древесины*	
	Область (край, республика), лесхоз	Лесорастительная зона (подзона)		$X \pm m_x$	Существенность различий $t$		м <sup>3</sup>	% от контроля
1	Мурманская, Мончегорский	Северная тайга	5,2	7,6 ± 0,32	6,05	11,31	8,55	57,8
2	То же, Кандалакшский	То же	6,1	7,9 ± 0,32	5,35	14,24	9,73	65,8
3	Архангельская, Пинежский	«	5,6	9,2 ± 0,30	2,38	17,79	12,99	87,8
12	Карельская, Чупинский	«	6,9	8,1 ± 0,29	5,12	16,87	11,12	75,2
4*,4	Архангельская, Плесецкий	Средняя тайга	6,2	10,2 ± 0,29	–	24,12	14,79	–
9	Вологодская, Тотемский	То же	6,6	10,7 ± 0,30	1,19	28,20	13,45	90,9
14	Карелия, Медвежьегорский	«	6,4	10,1 ± 0,29	0,24	24,39	14,63	98,9
15	То же, Пряжинский	«	6,0	10,4 ± 0,34	0,44	24,30	16,53	112,2
16	То же, Сортавальский	«	5,8	10,2 ± 0,25	0	22,60	13,45	90,34
17	То же, Пудожский	«	5,8	9,8 ± 0,31	0,95	20,88	13,22	89,4
19	Ленинградская, Лисинский	Южная тайга	7,7	13,9 ± 0,65	5,21	55,26	9,06	61,3
42	Калининская, Бежецкий	То же	6,4	13,1 ± 0,77	3,54	41,03	3,16	21,8
47	Костромская, Мантуровский	«	6,1	12,0 ± 0,35	4,0	32,86	1,08	7,3
48	То же, Костромской	«	6,2	12,7 ± 0,36	5,43	37,40	6,13	41,4

Продолжение табл. 3

№ климата-типа	Происхождение семян		Средняя высота, м	Средний диаметр на 1,3 м, см		Объем ствола, дм <sup>3</sup>	Запас древесины*	
	Область (край, республика), лесхоз	Лесорастительная зона (подзона)		$X \pm m_x$	Существенность различий $t$		м <sup>3</sup>	% от контроля
68	Кировская, Слободской	Южная тайга	6,1	11,5 ± 0,43	2,5	30,19	9,48	64,1
22	Псковская, Псковский	Смешанные	4,8	10,2 ± 0,71	0	18,86	1,24	8,4
23	Новгородская, Крестецкий	То же	6,3	13,7 ± 0,70	3,04	44,20	0,91	6,2
43	Московская, Куровской	«	4,3	10,3 ± 1,10	0,09	17,32	0,09	0,6
67	Удмуртия, Воткинский	«	4,9	12,2 ± 0,55	3,22	27,52	2,97	20,1
78	Свердловская, Ивдельский	Средняя тайга	5,8	11,1 ± 0,47	1,64	26,79	5,01	33,9
81	Тюменская, Сургутский	То же	6,2	10,7 ± 0,28	1,48	26,55	13,7	92,6
77	Свердловская, Гавдинский	Южная тайга	5,3	13,4 ± 0,54	5,25	35,80	3,19	21,6
82	Тюменская, Заводоуковский	То же	6,0	11,9 ± 0,67	2,33	31,81	1,3	8,8
88	Томская, Колпашевский	«	6,0	11,2 ± 0,32	2,32	28,18	9,05	61,2
109	Иркутская, Катангский	«	5,4	10,7 ± 1,24	0,39	23,24	1,14	70,7
118	Якутская, Якутский	Средняя тайга	6,0	10,0 ± 0,57	0,31	22,46	0,09	0,6
122	Хабаровский, Аянский	То же	4,4	8,7 ± 0,73	1,9	12,64	0,85	5,8

\* Запас древесины (в коре) на корню в расчете на число сохранившихся растений из 1000 высаженных.

Значительно отстают в росте северотаежные климатипы из Субарктики и Архангельской области, а также большинство климатипов из зоны смешанных лесов. Их высота составляет 4,8 ... 5,6 м. Наименьшую высоту (4,4 ... 5,3 м) имеют сосны из расположенных восточнее 60 ° в. д. Хабаровского края, Иркутской и Свердловской областей.

Основным критерием оценки культур является запас стволовой древесины, который одновременно учитывает и ростовые показатели, и выживаемость потомства в новых условиях среды. При испытании в Архангельской области наибольшим запасом стволовой древесины (в коре) на корню отличается местный и близкие к нему климатипы сосны из Карелии. При использовании для лесовосстановления семян этих популяций повышение

приживаемости культур может существенно увеличить их продуктивность. Хорошие результаты (90 ... 92 % от местного) показывают потомства сосны из Вологодской (Тотемский лесхоз) и Тюменской (Сургутский лесхоз) областей. Наименьшие запасы древесины в 21-летнем возрасте древостоя у остальных сибирских и дальневосточных климатипов сосны (иркутский, якутский, хабаровский), а также самых южных из испытываемых потомств (Костромская, Калининская, Новгородская, Псковская области и Удмуртия).

#### *Выводы*

1. Устойчивость и рост культур тесно связаны с географическим происхождением исходных популяций. Ранговое положение климатипов по приживаемости стабилизируется в первое десятилетие после посадки растений на лесокультурную площадь и с возрастом меняется незначительно.

2. К началу третьего десятилетия ранговое положение климатипов по высоте остается нестабильным: снижается интенсивность роста ряда европейских потомств из средней подзоны тайги, повышается – у южнотаежных.

3. Оценка климатипов по продуктивности (запасу стволовой древесины) – одному из важнейших показателей, позволяющему с высокой долей вероятности судить о пригодности использования семенного потомства той или иной популяции при искусственном лесовосстановлении, дает возможность достаточно уверенно диагностировать ранговый статус происхождений. Для лесосеменного района ба (южноархангельский) выделена группа перспективных климатипов, которые могут быть использованы для целей лесовосстановления при отсутствии местных семян. К ним относятся прежде всего популяции из Карелии (лесосеменной район 5). При использовании местных и близких к ним популяций большое значение приобретает качество культур. Повышение их приживаемости позволит значительно увеличить запас стволовой древесины.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вересин М.М.* Влияние происхождения семян сосны обыкновенной на рост культур // Докл. ученых-участников Междунар. симпоз. по селекции, генетике и лесному семеноводству хвойных пород. – Пушкино, 1972. – С. 38–48.
2. *Войчалъ П.И.* Географические культуры сосны в Архангельской области // Лесн. хоз-во. – 1961. – № 11. – С. 32–42.
3. *Войчалъ П.И.* Некоторые вопросы районирования лесного семеноводства по материалам географических культур сосны в Архангельской области // Лесная генетика, селекция и семеноводство. – Петрозаводск, 1970. – С. 411–415.
4. *Войчалъ П.И.* О критериях успешности географических культур // Сб. тр. Воронеж. ЛТИ. – Воронеж, 1971. – Т. 33. – С. 67–68.
5. Изучение имеющихся и создание новых географических культур: Программа и методика работ. – Пушкино: ВНИИЛМ, 1972. – 52 с.
6. *Ипатов Л.Ф.* Строение и рост культур сосны на Европейском Севере. – Архангельск: Сев.-зап. кн. изд-во, 1974. – 107 с.

7. *Ирошников А.И.* и др. Методика изучения внутривидовой изменчивости древесных пород / А.И. Ирошников, С.А. Мамаев, Л.Ф. Правдин, М.А. Щербакова. – М., 1973. – 31 с.
8. *Кобранов Н.П.* Обследование и исследование лесных культур. – Л., 1973. – 78 с.
9. Лесосеменное районирование основных лесобразующих пород в СССР. – М.: Лесн. пром-сть, 1982. – 366 с.
10. *Наквасина Е.Н., Непогодьева Т.С., Кононенко Н.В.* Создание географических культур сосны в Архангельской области. – Архангельск, 1986. – (Информ. листок / ЦНТИ; № 128–86. – 4 с.).
11. *Наквасина Е.Н.* и др. Географические культуры сосны на Европейском Севере / Е.Н. Наквасина, Н.В. Улиссова, С.Н. Тарханов, И.И. Сизов // Лесоводство, лесоразведение, лесные пользования: Экспресс-информация / ЦБНТИ Гослесхоза. – М., 1987. – Вып. 13. – С. 2–11.
12. *Наквасина Е.Н.* и др. Географические культуры хвойных на Европейском Севере / Е.Н. Наквасина, С.Н. Тарханов, Н.В. Улиссова, И.И. Сизов // Междунар. симпоз. «Лесная генетика, селекция и физиология древесных растений» (25-30 сентября 1989 г., Воронеж). – М., 1989. – С. 137–139.
13. *Наквасина Е.Н.* и др. Географические культуры сосны и ели на Европейском Севере / Е.Н. Наквасина, С.Н. Тарханов, Н.В. Улиссова и др. // Междунар. симпоз. «Северные леса: состояние, динамика и антропогенное воздействие» (16-26 июля 1990 г., Архангельск). – М., 1990. – Ч. 2. – С. 131–139.
14. *Непогодьева Т.С.* Результаты выращивания сеянцев сосны различного географического происхождения в Архангельской области // Материалы годичной сессии по итогам науч.-исслед. работ за 1977 г. – Архангельск: АИЛиЛХ, 1978. – С. 38–40.
15. *Непогодьева Т.С.* и др. Культуры сосны из инорайонных семян на Европейском Севере / Т.С. Непогодьева, И.И. Сизов, А.И. Барабин, Н.В. Улиссова // Материалы отчетной сессии по итогам научно-исследовательских работ в 9-й пятилетке (1971–1975). – Архангельск: АИЛиЛХ, 1976. – С. 25–28.
16. *Огиевский В.Д.* К вопросу о влиянии происхождения семян на рост леса // Избр. тр. – М., 1966. – С. 302–317.
17. *Попов В.Я.* Географические культуры сосны в Архангельской области: Автореф. дис. .... канд. с.-х. наук. – Минск, 1968. – 20 с.
18. *Попов В.Я., Войчаль П.И.* Шестилетние географические культуры сосны в Архангельской области // Лесн. журн. – 1965. – № 5. – С. 13–17. – (Изв. высш. учеб. заведений).
19. *Попов В.Я., Войчаль П.И.* К вопросу о приживаемости и росте культур сосны обыкновенной в Архангельской области // Лесн. журн. – 1966. – № 3. – С. 13–16. – (Изв. высш. учеб. заведений).
20. *Попов В.Я., Войчаль П.И.* Климатипы сосны в культурах и возможности переборки сосновых семян в Архангельскую область // Лесн. журн. – 1971. – № 2. – С. 14–19. – (Изв. высш. учеб. заведений).
21. *Попов В.Я., Непогодьева Т.С.* Лесосеменное районирование сосны обыкновенной на Европейском Севере // Материалы годичной сессии по итогам науч.-исслед. работ за 1979 г. – Архангельск: АИЛиЛХ, 1980. – С. 31–36.
22. *Попов В.Я.* и др. Адаптационная способность и рост климатипов сосны и ели в ювенильной стадии развития в условиях Европейского Севера / В.Я. Попов,



И.И. Сизов, Т.С. Непогодыева и др. // Материалы отчетной сессии по итогам науч.-исслед. работ в 10-й пятилетке (1976-1980). – Архангельск: АИЛиЛХ, 1981. – С. 52–53.

Поморский государственный университет  
СевНИИЛХ

Поступила 09.03.99

*E.N. Nakvasina, T.V. Bedritskaya, O.A. Gvozdukhina*

**Selective Evaluation of Climatypes of Common Pine  
in the Geographical Cultures of the Arkhangelsk Region**

The study results are presented related to the survival rate, growth and productivity of the common pine climatypes in the 21-aged geographical cultures of the Arkhangelsk region. The local climatype and Karelian climatypes are among the best according to the standing volume, as well as the offspring of middle-taiga pines from Vologda and Tyumen regions.

---

УДК 630\*5

***О.А. Неволин, С.В. Третьяков, О.О. Еремина***

Неволин Олег Алексеевич родился в 1929 г., окончил в 1952 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесной таксации и лесоустройства Архангельского государственного технического университета, заслуженный лесовод России. Имеет 120 печатных трудов в области изучения высокопродуктивных лесов Севера и организации хозяйства в них, истории лесного хозяйства и лесоустройства.



Третьяков Сергей Васильевич родился в 1956 г., окончил в 1978 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесной таксации и лесоустройства Архангельского государственного технического университета. Имеет более 30 печатных трудов в области изучения смешанных лесов Севера, организации и моделирования лесопользования.



Еремина Ольга Олеговна родилась в 1956 г., окончила в 1978 г. Архангельский лесотехнический институт, ассистент кафедры геодезии Архангельского государственного технического университета. Имеет 8 печатных трудов в области возобновления сосновых лесов Севера.

**ДИНАМИКА СОСНОВО-БЕРЕЗОВОГО НАСАЖДЕНИЯ  
ПРИ ПРОТОЧНОМ УВЛАЖНЕНИИ ПОЧВЫ  
В ТИПЕ ЛЕСА СОСНЯК-КИСЛИЧНИК**

По результатам 36-летних исследований изучено изменение состава древостоев, средних высот и диаметров, числа деревьев, полноты, запаса древесины, древесного опада и общей продуктивности. Прослежена динамика напочвенного покрова, подлеска и подроста.

динамика насаждений, сосняк-кисличник, сосна, береза, проточное увлажнение.

При изучении природы высокопродуктивных сосняков Европейского Севера в 1963 – 1964 гг. было заложено 26 постоянных пробных площадей в Березниковском лесничестве Виноградовского района Архангельской области [5].

В настоящей работе приведены основные результаты 36-летних исследований на постоянной пробной площади № 4, заложенной в смешанном 45-летнем сосново-березовом насаждении II класса бонитета. Тип леса сосняк-кисличник (*Pinetum betuleto-oxalidosum*). Насаждение послепожарного происхождения возникло в 1918 г. на гари 1916 г. и произрастает на слабо-подзолистой легкосуглинистой почве, развивающейся на среднем суглинке. Новое поколение одновозрастного сосново-березового древостоя дали одиночные сосны, уцелевшие при лесном пожаре [6], и березы, растущие в соседнем ельнике приручейном.

Особенностью исследуемого участка является проточное переувлажнение почвы, обусловленное постоянным передвижением грунтовых вод и почвенной влаги через участок от соседнего сосняка сфагнового в протекающую неподалеку речку Шиловку. Интересно, что явное переувлажнение почвы не оказывает заметного отрицательного влияния на рост древостоя. Очевидно, это связано с проточным увлажнением при хорошем насыщении почвенной влаги кислородом. Такие природные условия для произрастания леса нередки на Европейском Севере, но изучены слабо, особенно в лесотипологическом отношении.

Исследования на постоянной пробной площади проводились шесть раз (1963, 1970, 1976, 1983, 1988 и 1999 гг.)\*. За этот период произошла смена напочвенного покрова при активном расселении по всей территории участка мхов-гигрофитов. Так, в год закладки пробной площади в 1963 г. кукушкин лен (*Polytrichum commune* L.) в напочвенном покрове принимал значительное участие (Сор.<sup>3</sup>) [9]. Местами (Sp.) поселялись сфагновые мхи (преимущественно *Sphagnum Girgensohnii* Russ.). К моменту повторных исследований в 1970 г. кукушкин лен образовал сплошной ковер (Сос.) и, бурно разрастаясь, сильно потеснил обычных в этом типе леса представителей напочвенного покрова. Сфагновые мхи образовали своеобразные «подушки», но степень их распространения была по-прежнему незначительной (Sp.). Со временем, по мере разрастания «подушек» сфагновых мхов, позиции кукушкина льна постепенно ослаблялись. Ко времени исследований в 1988 г. (сентябрь) сфагнум Гиргензона образовал сплошной плотный ковер (Сос.) с равномерным вплетением в него кукушкина льна (Сор.<sup>1</sup>).

Кислица (*Oxalis acetosella* L.), черника (*Vaccinium myrtillus* L.), седмичник европейский (*Trientalis europaea* L.), майник двулистный (*Majanthemum bifolium* L.), линнея северная (*Linnea borealis* L.), грушанка однокрая (*Ramischia secunda* L.), *Pleurozium Schreberi* Wild., *Hylocomium proli-*

---

\* В исследованиях принимали участие студенты: В.С. Коровкин и Н.И. Широкий (1963), О.О. Еремина (1976) и Д.В. Еремин (1999).



Класс бонитета	II	II	II	II	II	II	-	-
Полнота	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	-	-
Запас на 1 га, м <sup>3</sup>	231	245	307	335	375	449	+218	+6,1
Отпад на 1 га, м <sup>3</sup>	13	32	45	59	72	114	+101	+2,8
Общая продуктивность на 1 га, м <sup>3</sup>	244	277	352	394	447	563	+319	+8,9
Среднее накопление запаса на 1 га, м <sup>3</sup>	5,1	4,7	5,3	5,2	5,4	5,5	+0,4	-
Средний прирост на 1 га, м <sup>3</sup>	5,4	5,3	6,1	6,1	6,4	7,0	+1,6	-

Состав древостоя и полнота, определявшаяся по стандартной таблице [3, 8], оказались неизменными. Запас древесины на 1 га за 36-летний период в возрасте древостоя от 45 до 81 года увеличился на 218, а общая продуктивность (с учетом отпада) возросла на 319 м<sup>3</sup>. Среднепериодическое (за 36 лет) накопление запаса – 6,1; текущий прирост – 8,9 м<sup>3</sup>/га. Запас древесины сосны в исследуемом древостое к 80-летнему возрасту на 18 % выше, чем в чистых сосняках-кисличниках (при одинаковой относительной полноте) [2, 3]. Это связано с лучшим ростом сосны, обусловленным, прежде всего, благоприятным воздействием березы как почвоулучшающей породы.

Отпад в сосново-березовом древостое за исследуемый период по числу деревьев и запасу древесины показан в табл. 2.

Таблица 2

Период исследований		Отпад на 1 га			Интенсивность отпада, %		
Календарные годы	Продолжительность, лет	Сосна	Береза	Всего	Сосна	Береза	В среднем
1963–1970	7	<u>467</u>	<u>200</u>	<u>667</u>	20,4	13,1	17,5
		16,0	3,1	19,1			
1971–1976	6	<u>340</u>	<u>27</u>	<u>367</u>	14,9	1,8	9,6
		12,7	0,4	13,1			
1977–1983	7	<u>227</u>	<u>140</u>	<u>367</u>	9,9	9,2	9,6
		12,2	1,8	14,0			
1984–1988	5	<u>133</u>	<u>87</u>	<u>220</u>	5,8	5,7	5,8
		9,7	3,2	12,9			
1989–1999	11	<u>200</u>	<u>367</u>	<u>567</u>	8,8	24,0	14,7
		30,4	11,5	41,9			
1963–1999	36	<u>1367</u>	<u>821</u>	<u>2188</u>	59,8	53,8	57,2
		81,0	20,0	101,0			

Примечание. В числителе – отпад по числу деревьев; в знаменателе – по запасу, м<sup>3</sup>.

Среднегодовой отпад за 36-летие по числу деревьев составляет 61, в том числе: сосны 38, березы 23; по запасу древесины 2,8 м<sup>3</sup>/га, из них сосны 2,3, березы 0,5 м<sup>3</sup>.

Естественный отпад происходит за счет деревьев низших ступеней толщины. Так, у сосны к 65-летнему возрасту не осталось ни одного дерева 6-сантиметровой ступени толщины, а деревья до 4 см погибли к 50-летнему возрасту древостоя. У сосны 94 % отпада по числу деревьев приходится на тонкомерную часть древостоя, ограниченную диаметром 10 см на высоте груди. У березы 96 % отпада составляют деревья толщиной 4 ... 8 см.

Интенсивность отпада по числу деревьев в сосново-березовом древостое с возрастом снижается. Тонкомерная сосна, испытывая угнетение более развитыми деревьями, быстро погибает, в то время как тонкомерная береза в таком состоянии многие годы и десятилетия живет, но влачит жалкое существование. Явление это, на наш взгляд, биологически целесообразно, обеспечивает развитие сосново-березового сообщества и особенно его сосновой части. Березовый опад (листья и др.) этой части насаждения заметно пополняет запасы мягкого гумуса, чем обеспечивает лучшее почвенное питание и, как следствие, хороший рост сосновой части смешанных древостоев.

Отпад в сосново-березовом древостое неизбежен, обусловлен процессом развития и роста это лесного сообщества и не связан с болезнями и вредителями из мира насекомых. Своевременное использование древесного отпада в хозяйстве позволит значительно увеличить съем продукции и тем самым поднять действительную продуктивность сосновых лесов Европейского Севера России.

В обычных условиях произрастания смешанных сосняков-кисличников в первые два-три десятилетия их жизни происходит массовое расселение ели под сосново-березовым пологом [7, 11]. Затем этот процесс ослабляется, идет медленно, но полностью не прекращается. К 80–100-летнему возрасту сосново-березового древостоя ель образует второй ярус с запасом стволовой древесины иногда до 90 м<sup>3</sup>/га [5]. Часть елей выходит в первый ярус.

На исследуемом участке ель не образует второго яруса (40 шт./га) и в подросте представлена на уровне 500 шт./га, за 36 лет это количество возросло лишь на 150 шт./га. Примечательно, что все елочки хорошего роста, здоровые, без явных признаков угнетения. Средняя высота подроста 0,9 м, возраст 35 лет.

Береза и осина, появляющиеся в подросте, имеют жалкий вид (из-за сильных систематических повреждений лосями и зайцами) и со временем погибают.

Таким образом, в условиях проточного увлажнения почвы формируются одноярусные высокопродуктивные сосново-березовые древостои. Их ценность в хозяйственном отношении несомненна.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Левин В.И. Результаты исследования динамики сосняков Архангельской области. – Архангельск: Арх. кн. изд-во, 1959. – 132 с.
2. Левин В.И. Сосняки Европейского Севера. – М.: Лесн. пром-сть, 1966. – 152 с.

3. Лесотаксационный справочник для северо-востока европейской части СССР: Нормативные материалы для Архангельской, Вологодской областей и Коми АССР / Г.С. Войнов, И.И. Гусев, Е.Г. Тюрин. – Архангельск, 1986. – 358 с.
4. Мелехов И.С. Лесоведение. – М.: Лесн. пром-сть, 1980. – 408 с.
5. Неволин О.А. Основы хозяйства в высокопродуктивных сосняках Севера. – Архангельск: Сев.-Зап. кн. изд-во, 1969. – 102 с.
6. Неволин О.А. О долговечности сосны в условиях Севера // Лесн. журн. – 1985. - № 1. – С. 18 – 22. – (Изв. высш. учеб. заведений).
7. Неволин О.А., Еремина О.О. Подрост и его значение в формировании высокопродуктивных сосновых лесов Европейского Севера России // Лесн. журн. – 1998. – № 4. – С. 12–18. – (Изв. высш. учеб. заведений).
8. Полевой справочник таксатора (для таежных лесов Европейского Севера) / И.И. Гусев, В.И. Калинин, О.А. Неволин и др. – Вологда: Сев.-Зап. кн. изд-во, 1971. – 196 с.
9. Сукачев В.Н. Руководство к исследованию типов леса. – М.; Л.: Гос. сельхоз. изд-во, 1930. – 318 с.
10. Сукачев В.Н., Зонн С.В. Методические указания к изучению типов леса. – М: Изд-во АН СССР, 1961. – 144 с.
11. Третьяков С.В. Формирование возрастной структуры сосново-еловых древостоев // Лесн. таксация и лесоустройство: Межвуз. сб. науч. тр. – Красноярск: КПИ, 1987. – С. 65–72.

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 06.04.2000 г.

*O.A. Nevolin, S.V. Tretjakov, O.O. Eremina*

### **Dynamics of Pine-and-Birch Stand under Flowing Moistening of Soil in the Pinetum betuleto-oxalidosum Forest Type**

Based on the 36-year study results the change of stand composition, average height and diameters of trees, number of trees, volume, forest density, forest attrition and total productivity has been studied. The dynamics of ground vegetation, undergrowth and young growth is traced.

---

УДК 632.4:582.287.237:582.475

**И. И. Минкевич, О. Н. Ежов**

Минкевич Игорь Иванович родился в 1931 г., окончил в 1954 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой фитопатологии и древесиноведения С.-Петербургской лесотехнической академии. Имеет более 200 печатных работ в области изучения грибных болезней хвойных и лиственных древостоев.



Ежов Олег Николаевич родился в 1972 г., окончил в 1994 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат биологических наук, научный сотрудник Института экологических проблем Севера УрО РАН. Имеет 10 печатных работ в области патологии и устойчивости хвойных древостоев.



**РАСПРОСТРАНЕНИЕ И МОРФОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ПЛОДОВЫХ ТЕЛ СОСНОВОЙ ГУБКИ В ЛЕСАХ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА РОССИИ**

Рассмотрены особенности распространения и морфологическое разнообразие фенотипов плодовых тел сосновой губки по макропризнакам и категориям крупности в условиях Европейского Севера России в разных условиях роста.

сосновая губка, фенотипы, процент плодовых тел.

Сосновая губка (*Phellinus pini* (Thore ex Fr.) Pilat) служит основным возбудителем пестрой коррозийной ядровой стволовой гнили сосны, встречается также на ели, пихте и лиственнице в умеренной зоне Северного полушария. Распространению гнили в насаждениях сосны в зависимости от возраста древостоев, их состава и типов леса посвящено достаточное количество исследований.

Морфологические формы гриба в связи с его развитием на разных древесных породах описаны в монографии А.С. Бондарцева [1].

Типичное плодовое тело – многолетнее, сидячее, половинчатое, более или менее копытообразное, обычно с узкими концентрическими бороздками и трещинами, расположенными чаще радиально. По форме плодовые тела способны варьировать и образовывать шляпки от типично копытообразных до консолевидных, иногда полураспростертых.



Однако в литературе фактически нет данных о характере распространения и формах базидиом гриба на сосне обыкновенной (*Pinus silvestris* L.) в зависимости от условий роста, таксационных показателей древостоя и географической зоны произрастания. В настоящей работе обобщены данные о наличии и числе плодовых тел сосновой губки на деревьях разного возраста, их морфологических вариаций по макропризнакам (фенотипам), размерах, а также о влиянии рекреационной нагрузки на распространение плодовых тел гриба в спелых и перестойных насаждениях. Наблюдения проводили в сосновых древостоях Емцовского, Шенкурского и Плесецкого лесхозов Архангельской области (средняя подзона тайги) на 87 пробных площадях, заложенных в разных типах леса III–XI классов возраста с учетом антропогенного воздействия. На каждой пробной площади обследовали не менее 200 деревьев сосны обыкновенной.

Установлено, что основными воротами инфекции служат сучья, имеющие ядровую древесину (более 90 %), реже – пожарные подсушины, механические повреждения ствола и сухобочины.

Типичное плодовое тело в условиях средней подзоны тайги характеризуется следующими признаками. Кора темно-коричневая или черная с радиальными трещинами; поверхность шероховатая, иногда щетинистая, край ровный, острый, реже волнистый; трама ржаво-коричневая, ржавая, твердая. Базидиомы сверху часто покрыты лишайниками, реже мхами. У некоторых плодовых тел наблюдается отмирание верхней части или даже ее разрушение. Гименофор чаще коричневатого оттенка, иногда ржаво-бурый, одного цвета с корой или сероватый. В нескольких случаях плодовые тела на одном дереве имели одинаковый вид и форму гименофора. Трубочки гименофора длиной до 1 см, неясно слоистые. Поры чаще угловатые, иногда дедалевидные или округлые. Нами выделены шесть основных фенотипов сосновой губки по микропризнакам строения плодовых тел:

1 – плодовые тела в поперечном сечении имеют форму прямоугольного треугольника, нижняя плоскость с гименофором перпендикулярна оси ствола;

2 – плодовые тела имеют такое же сечение, но нижняя плоскость расположена под острым углом к оси ствола;

3 – край плодового тела закруглен, верхняя и нижняя плоскости почти параллельны друг другу («копыто»);

4 – плодовые тела с поперечным сечением в форме треугольника;

5 – плодовые тела узкие, в поперечном сечении копьевидные, расширяющиеся к основанию;

6 – плодовые тела иной формы: распростертые, колоколообразные, иногда расположенные черепитчатой группой.

Связь определенных фенотипов базидиом сосновой губки с особенностями гименофора и строением трубочек не обнаружена.

При учете плодовые тела сосновой губки были нами разделены на три категории по размерам: мелкие – до  $3 \times 3 \times 3$  см; средние – от  $3 \times 3 \times 3$  до  $6 \times 6 \times 6$  см; крупные больше  $6 \times 6 \times 6$  см.

Самое большое плодовое тело возрастом более 100 лет и размером  $33,8 \times 21,7 \times 17,4$  см обнаружено нами в 200-летнем сосновом древостое. В среднем возраст плодовых тел колеблется в пределах 40 ... 50 лет.

С увеличением возраста насаждений количество деревьев с плодовыми телами сосновой губки увеличивается, причем более быстрыми темпами в сосняках нормального увлажнения (табл. 1).

Таблица 1

Возраст деревьев, лет	Процент деревьев с плодовыми телами в зависимости от условий произрастания			Среднее
	Сырые	Нормально увлажненные	Сухие	
61...100	0,12	0,51	0,35	0,36
101...140	2,87	2,38	3,13	2,60
141...180	3,58	5,84	5,11	5,39
> 180	7,61	11,00	5,05	9,13
Среднее	3,34	4,64	3,59	–

Примечание. К сырым условиям произрастания отнесены типы леса сфагновые и долгомошные; нормального увлажнения – черничные; к сухим – лишайниковые.

На основании этих материалов и усредненных данных о количестве пораженных деревьев нами рассчитано уравнение

$$Y = 1,565 + 9,089 X,$$

где  $Y$  – возможный процент деревьев, пораженных гнилью от сосновой губки;

$X$  – процент сосен с плодовыми телами гриба.

Абсолютная ошибка уравнения составила 2 %. С его помощью приблизительно можно установить число сосен с этим пороком в возрасте 100 ... 120 лет. Интересно отметить, что, по данным С. И. Федоренко [2], для Пермской области плодовые тела сосновой губки встречаются на 5 ... 10 % деревьев, пораженных гнилью.

Таблица 2

Число плодовых тел на одном дереве	Процент деревьев с плодовыми телами в насаждениях разных типов условий произрастания и возрастных групп, лет											
	Сырые				Нормально увлажненные				Сухие			
	≤100	101...140	141...180	>180	≤100	101...140	141...180	>180	≤100	101...140	141...180	>180
1	100	58	48	54	43	54	42	42	100	50	34	46
2	-	31	33	32	43	19	26	27	-	50	26	18
3	-	7	19	8	-	21	12	14	-	-	20	18
4	-	4	-	4	14	4	8	7	-	-	9	-
5	-	-	-	2	-	-	5	5	-	-	4	9
> 5	-	-	-	-	-	2	7	5	-	-	7	9
Среднее	1,0	1,6	1,7	1,7	1,9	1,9	2,4	2,3	1,0	1,5	2,5	2,6

Таблица 3

Категория плодовых тел по размеру	Процент плодовых тел в зависимости от возраста насаждений, лет					
	81...100	101...120	121...140	141...160	161...180	> 180
Мелкие	62	44	39	25	25	16
Средние	25	35	32	28	27	27
Крупные	13	21	29	47	48	57

Число плодовых тел на одном дереве изменяется значительно (табл. 2). Как видим, с возрастом насаждений повышается процент сосен с несколькими плодовыми телами сосновой губки, особенно начиная со 140-летнего возраста древостоя, причем в нормально увлажненных и сухих условиях произрастания увеличивается число деревьев, на которых развивается 3 и более базидиокарпов. Максимальное отмеченное нами число плодовых тел на одном дереве – 11.

На основании имеющихся данных нами сделан анализ количества плодовых тел разных размеров в зависимости от возраста насаждений (табл. 3).

По имеющимся показателям прослеживается тенденция увеличения числа плодоносцев сосновой губки больших размеров в более старых древостоях.

Частота встречаемости плодовых тел сосновой губки разных фенотипических групп в сосняках разного возраста представлена в табл. 4.

Чаще встречались плодовые тела сосновой губки фенотипов 1, 2 и 4. В насаждениях VIII класса возраста отмечено наибольшее морфологическое разнообразие плодовых тел гриба, а фенотипы 5 и 6 довольно редки.

С усилением антропогенного воздействия в насаждениях возрастает число деревьев с плодовыми телами, особенно с третьей стадии дигрессии. Это объясняется значительным распространением механических повреждений и пожарных подсушин, которые служат дополнительными «воротами»

Таблица 4

Группа фенотипов плодовых тел	Частота встречаемости фенотипов плодовых тел сосновой губки в сосняках возраста, лет					
	<100	101...120	121...140	141...160	161...180	>180
1	***	***	***	***	**	***
2	—	—	**	***	**	***
3	—	—	**	*	**	*
4	***	***	**	***	**	**
5	***	—	—	*	*	*
6	—	—	*	*	*	*

\* Встречаемость редкая ( $\leq 10\%$ ); \*\* – средняя (10...20%); \*\*\* – частая ( $> 20\%$ ).

Таблица 5

Стадия	Процент деревьев	Среднее число	Высота расположения
--------	------------------	---------------	---------------------

дигрессии	с плодовыми телами	плодовых тел на одном дереве, шт.	плодовых тел, м	
			средняя	Пределы значений
I	7,3	2,3	5,2	0,5...10,0
II	7,7	2,2	5,4	0,5...12,0
III	19,4	1,8	4,9	0,4...10,5
IV	20,0	1,8	4,2	0,1...12,0

для инфекции. Наоборот, среднее число плодовых тел на одном дереве по мере деградации лесных участков незначительно уменьшается, что, вероятно, объясняется сбором грибов для декоративных и учебных целей. Высота расположения плодовых тел сосновой губки на стволах существенно не зависит от стадий антропогенной дигрессии (табл. 5, данные для насаждений IX класса возраста).

Итак, в изученной подзоне нами выделено 6 фенотипов плодовых тел сосновой губки. Среднее и максимальное число базидиом на одном дереве и количество крупных плодовых тел увеличиваются с возрастом. Установлен характер распространения плодовых тел в зависимости от стадий дигрессии.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бондарцев А.С.* Трутовые грибы Европейской части СССР и Кавказа. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1953. – 1106 с.
2. *Федоренко С.И.* Влияние антропогенного воздействия на пораженность лесопарковых лесов фитопатогенными ксилотрофными базидиомицетами // Проблемы лесной фитопатологии и микологии. – М., 1997. – С. 93-95.

С.-Петербургская лесотехническая академия  
Институт экологических проблем Севера  
УрО РАН

Поступила 04.12.98

*I.I. Minkevich, O.N. Ezhov*

#### **Spreading and Morphological Diversity of Fruit Bodies of the Pine Fungus in the Forests of the European North of Russia**

The peculiarities of spreading and morphological diversity of phenotypes of the fruit bodies of the pine fungus are viewed according to the macrocharacters and size categories in the conditions of the Russian European North in various growth conditions.

УДК 630\* 453

***А.В. Лебедев, Э.А. Иванова***

Лебедев Александр Васильевич родился в 1953 г., окончил в 1976 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат биологических наук. Имеет более 45 печатных работ в области исследования патологии и устойчивости хвойных древостоев.



Иванова Элеонора Андреевна родилась в 1939 г., окончила в 1962 г. Архангельский лесотехнический институт, старший преподаватель кафедры экологии и защиты леса Архангельского государственного технического университета. Имеет более 20 печатных работ в области изучения патологии и устойчивости хвойных насаждений.

**ПАТОЛОГИЯ ЕЛИ  
В ДРЕВОСТОЯХ РАЗНОГО СОСТАВА**

Рассмотрены результаты изучения санитарного состояния типичных среднетаежных хвойных древостоев. Установлено, что с увеличением доли участия сосны в составе древостоя состояние деревьев ели улучшается, а пораженность деревьев грибами и отпад уменьшаются.

ель, корневая гниль, стволовая гниль, короед-типограф, устойчивость древостоя, непроवेशенная ходовая линия.

Высокая эффективность защиты леса может быть достигнута только на основе точных данных о санитарном состоянии насаждений и роли лесопатологических факторов в них [1, 12].

Необходимость таких данных очевидна и для лесов Европейского Севера, которые нередко страдают от патологических и сопутствующих им воздействий [2].

Современная характеристика ельников и сосново-еловых древостоев Европейского Севера приведена в специальной литературе [3, 4]. Однако патология их изучена недостаточно. В нашу задачу входило частично восполнить этот пробел.

В статье представлен один из типичных фрагментов лесопатологических обследований среднетаежных елового и сосново-елового древостоев Емцовского учебно-опытного лесхоза АГТУ. Для изучения состояния и устойчивости хвойных древостоев в зависимости от их породного состава нами в соответствии с общепринятыми принципами лесоводства и лесной таксации были подобраны три участка: 10Е; 8Е2С + Б; 6Е4С + Б. Долю участия

отдельных древесных пород в составе насаждения определяли по отношению к общему запасу. Все древостои среднеполнотные, среднебонитетные, IX класса возраста, черничный тип леса.

Детальные лесопатологические обследования проводили методом непрошедшей ходовой линии [9]. Вдоль каждой линии выполняли ленточный пересчет по породам, ступеням толщины, категориям состояния, причинам ослабления или гибели деревьев. На каждом участке в пересчет включали по 200 деревьев главной породы – ели, а также встречавшиеся деревья сосны. При этом применяли шкалу категорий состояния деревьев и методы лесопатологической диагностики, изложенные в наших предыдущих работах [8, 9].

Результаты изучения зависимости состояния и устойчивости хвойных древостоев от их состава приведены в таблице.

Во всех рассматриваемых случаях сумма учетных единиц больше 200, так как одно и то же дерево может быть ослаблено разными причинами. Распределение деревьев по категориям состояния не полностью совпадает с табличными данными. Так, в таблице приведена частота встречаемости не деревьев, а причин и следствий их ослабления.

Категория состояния деревьев	Причины и следствия болезней деревьев	Распределение ели, %, в разных древостоях по составу			Всего, учетных единиц / %
		10Е	8Е2С+Б	6Е4С+Б	
Здоровые	–	50,5	62,5	70,0	366 / 61,0
Ослабленные	Механические повреждения	5,0	3,5	4,0	25 / 4,2
	Пожарные травмы	2,5	2,5	2,0	14 / 2,3
Больные	Угнетение	1,5	2,0	2,5	12 / 2,0
	Корневая гниль	26,0	19,5	14,0	119 / 19,8
	Стволовая гниль	7,5	4,5	2,0	28 / 4,7
	Заселение короедами	1,5	1,5	1,5	9 / 1,5
	Сухостой	4,0	3,0	2,5	19 / 3,2
	Валежник	4,0	3,5	3,0	21 / 3,5
Итого, учетных единиц / %	–	205/102,5	205/102,5	203/101,5	613/102,2

Нами установлено, что причинами ослабления деревьев являются механические повреждения природного и антропогенного характера, пожарные травмы прошлых лет и угнетение елей соседними растениями. В числе факторов паразитарной группы явно доминирует корневая гниль, вызванная корневой губкой. В гораздо меньшей степени деревья поражены стволовой гнилью от еловой губки. Ель в год обследования была незначительно заселена короедом-типографом. Усыхание на корню обусловлено причинами непаразитарного характера при участии корневой губки и короедов. Первопричинами образования валежника являются поверхностные корневые системы деревьев ели и поражение их гнилями. На свежем валежнике

отмечены поселения короеда-типографа, обыкновенного гравера и черного лубоеда.

Сравнивая результаты анализа состояния ели в древостоях разного состава, можно сделать следующее заключение. С увеличением доли сосны в составе насаждения процент здоровых деревьев ели возрастает и достигает 70,0, в то время как в чистом еловом древостое он равен 50,5. Процент больных деревьев ели уменьшается: с 35,0 до 17,5; мертвых с 8,0 до 5,5. Представленность ослабленных елей в нашем случае остается практически неизменной.

Ведущим фактором ослабления деревьев ели на всех обследованных участках является корневая гниль, второе место занимает стволовая гниль. С возрастанием участия сосны в составе древостоя зараженность этими патогенами уменьшается. Процент деревьев ели, заселенных короедом-типографом, не изменяется, что связано с малой численностью ксилофагов; встречаемость сухостоя и валежника ели имеет тенденцию к уменьшению.

В то же время в связи с увеличением доли сосны в составе древостоя ее состояние ухудшается. Таким образом, чем меньше доля породы в составе хвойного древостоя, тем ее состояние лучше, а пораженность дереворазрушающими грибами и отпад ниже. Аналогичные данные получены нами в хвойных древостоях других лесхозов Архангельской области.

По литературным данным [5], чем разнообразнее сообщество, тем оно устойчивее. Сложные лесные фитоценозы лучше противостоят неблагоприятным факторам окружающей среды [10]. Смешанные хвойные древостои устойчивее чистых к лесопатологическим факторам [1, 12]. Однако в нашем случае, в сосново-еловых древостоях, ель довольно сильно поражена дереворазрушающими грибами. Это объясняется большим возрастом древостоев, что предрасполагает их к поражению грибными патогенами.

Интересно, что на сравнительно высоком инфекционном фоне деревья сосны не поражены корневой губкой, хотя зараженность сосняков этим патогеном на Европейском Севере может превышать 40 % [6]. В обследованном нами лесном массиве эта цифра составила 12 % [9], что позволяет предположить существование специализированных еловой и сосновой форм корневой губки. Такие формы уже выделены в зоне хвойно-широколиственных лесов [7].

Полученные нами данные могут быть использованы при оценке устойчивости хвойных древостоев к патологическим воздействиям, а также при проведении в них санитарно-оздоровительных мероприятий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Воронцов А.И.* Патология леса. – М.: Лесн. пром-сть, 1978. – 272 с.
2. *Вялых Н.И., Огибин Б.Н., Преображенский М.А.* Пути улучшения охраны лесов от пожаров, вредителей и болезней в Архангельской области // Леса и лесное хозяйство Архангельской области. – Архангельск, АИЛиЛХ, 1988. – С. 99-111.
3. *Гусев И.И.* Продуктивность ельников Севера. – Л.: Изд-во ЛГУ, – 1978. – 232 с.

4. Гусев И.И., Третьяков С.В. Закономерности роста и продуктивность среднетаежных сосново-еловых древостоев // Лесоводство, лесоразведение, лесные пользования. – М.: ВНИИЦлесресурс, 1992. – Вып. 2. – 28 с.
5. Дарвин Ч. Происхождение видов. – М.; Л.: Сельхозиздат, 1935.
6. Драчков В.Н. Влияние лесопатологических факторов на продуктивность лесов // Повышение продуктивности лесов Европейского Севера. – Архангельск: АИЛиЛХ, 1974. – С. 191-200.
7. Кобец Е.В. Изучение биологических особенностей *Fomitopsis annosa* (Fr.) Karst. в зоне хвойно-широколиственных лесов для обоснования мер борьбы с корневой губкой сосны: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Свердловск, 1980. – 20 с.
8. Лебедев А.В., Иванова Э.А. Патология деревьев ели в древостоях учебного назначения // Лесн. журн. – 1992. – № 5. – С. 39-43. – (Изв. высш. учеб. заведений).
9. Лебедев А.В., Иванова Э.А. Патология деревьев сосны в древостоях учебного назначения // Лесн. журн. – 1993. – № 1. – С. 12-17. – (Изв. высш. учеб. заведений).
10. Сукачев В.Н., Дылис Н.В. Основы лесной биогеоценологии. – М.: Наука, 1964. – 574 с.
11. Тальман П.Н., Катаев О.А. Методы лесоэнтомологических обследований. – Л.: Изд-во ВЗЛТИ, 1964. – 120 с.
12. Федоров Н.И. Корневые гнили хвойных пород. – М.: Лесн. пром-сть, 1984. – 160 с.

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 16.12.97

*A.V. Lebedev, E.A. Ivanova*

### **Spruce Pathology in the Stands of Different Composition**

The results of studying the sanitary condition for the typical middle-taiga spruce stands are presented. It has been established that with enlarging the share of pine in the stand composition the spruce condition has improved and the share of trees affected by fungi and attrition has reduced.



УДК 630\*89:581.6

*А. Г. Измоленов*

Измоленов Анатолий Григорьевич родился в 1930 г., окончил в 1954 г. Сибирский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией продуктов леса Института водных и экологических проблем ДВО РАН. Имеет 165 печатных работ в области исследования продуктов леса.



### **КЛАССИФИКАЦИЯ ЛЕСНЫХ ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ (НА ПРИМЕРЕ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА)\***

Дана количественная характеристика продукционной флоры. Создано шесть классификаций. Эти сведения призваны дать перечень продовольственных растений, систематизировать их по размерам и видам, вывести тип пользования, сориентировать в сезонах круглогодичного конвейера созревания урожаев, определить назначение, указать ресурсы, представить освоенность сырьевого и генетического фондов.

продукционная флора, продуценты, лесные овощи, ягоды, медоносы, классификации.

Если флора представляет собой совокупность всех растений на какой-либо территории, то растения, которые продуцируют потребляемые человеком продукты, позволительно объединить в продукционную флору. Понятие это новое, выработывалось постепенно, начиная с 1950-х гг., в профессиональное употребление введено в 1980-е гг.

В прошлом ближе всех к понятию продукционной флоры подошел профессор А. А. Строгий в 1930-е гг. Описывая деревья и кустарники, он отметил производимые ими продукты. Получилась книга, в которой собранные им сведения выглядят как целевая сводка. В последующие 60 лет появился ряд подобных публикаций. Больше всего таких сведений мы находим в книгах известного лесоведа Н. В. Усенко. И тем не менее, до проблемы продукционной флоры и даже до составления перечня продуктов леса в этих работах дело не дошло.

Составление первого перечня продукционной флоры показало, что по состоянию на 1950-е гг. в разрозненных публикациях различных авторов было зафиксировано всего около 100 видов растений со съедобными вегетативными частями – корнями, листьями, побегами, почками; по созданной впоследствии классификации они отнесены к лесным овощам. Впервые составленные нами на основании собственного опыта списки насчитывают сейчас 228 видов овощных растений. Лесные овощи – лишь одно подразделение продовольственных растений. Столь же существенно пополнился список ягодных, медоносных и других лесных растений. Флора лекарственных продуцентов насчитывает около 1100 видов.

---

\* Редакция сохранила терминологию автора, не во всем соглашаясь с нею.

Суммарно получается без малого 1700 видов. Около 200 видов выступают в двух и более качествах, т. е. являются одновременно, скажем, овощными и ягодными или лекарственными и медоносно-пергоносными, а следовательно, повторяются в списках. Без повтора суммарное число соответственно уменьшается, так что в целом продукционная флора Дальнего Востока насчитывает около 1500 видов высших растений, что составляет 48 % от числа всех видов дальневосточной флоры (3100).

В состав продукционных включены также 211 видов съедобных грибов, и вместе с ними продукционная флора Дальнего Востока исчисляется уже 1710 видами. В дальнейшем и это число наверняка увеличится.

Но и с указанными дополнениями продукционная флора остается далеко не полной. В число 1710 видов пока не включены ароматические и вкусоулучшающие растения, потому что для них еще не составлены перечни. По той же причине не учтены многие другие виды: парфюмерные (торф, торфяная вода ...), нестволовые технические (красители, детали из кустарников, иммерсионное масло из кедровых орехов ...), поделочные (корни, капы, пни, ветви, шишки, некоторые декоративно окрашенные плоды, береста ...), бытовые (вещества, отпугивающие грызунов и насекомых, смоляк, новогодние елки ...), кормовые (хвощ, желуди, шишки, кора аралии, побеги осины ...).

Количественное и качественное разнообразие продукционной флоры привело к необходимости систематизации составляющих ее видов по природным и производственным признакам. Созданы шесть сводных классификаций, представляющих продуценты и продукты в подразделении на продуктовые органы и части растений; типы пользования и способы сбора; морфологические признаки (жизненные формы, морфогруппы и группы размещения по площади произрастания); сроки лесопромышленного конвейера; группы назначения; размеры ресурса и степень освоенности (табл. 1).

Таблица 1

**Система классификаций продовольственных растений**

Классификация	Состав
По органам растения	Молодые побеги, почки, генеративные органы, корни, выделения, вторичные продукты...
По типам пользования и способам сбора	Безраневое, раневое, частичное, полное
По морфологическим признакам	4 жизненные формы, 4 морфогруппы, 4 размещения ( $4 \cdot 4 \cdot 4 = 64$ )
Лесопромышленный конвейер	Месяцы года
По потребительским свойствам	Пищевые, лекарственные, парфюмерные, технические, поделочные, кормовые...
Ресурсно-производственная	5 классов ресурса, 5 классов освоения

*Классификация продуктов по органам и частям растения*

К продуктам леса относятся различные растительные образования естественных угодий, имеющие продовольственное назначение. Сюда входят и вторичные продовольственные вещества, возникшие на растительной основе (мед из нектара, шурльта из березового сока, воск из листы ...). Продукты леса подразделены на десять основных групп: корни, молодые органы, зелень, генеративные органы, побеги, покровные органы, выделения, опад и отпад, растительные залежи с их производными, продукты жизнедеятельности насекомых и микроорганизмов.

Группы многочисленны и разнообразны по составу. Корни – корневище, клубень, луковица, салеп, корень, столон, стрелка. Молодые органы – всход, рахис, почка, молодой побег, стрелки побега, свеча, турион, молодая дудка, молодой лист, черешок. Зелень – трава, лист, молодая ветка, хвоя, лапник, основание листа (осока), черешок листа (борщевик), цветоносный побег, мох, лишайник. Генеративные органы – бутон, цветок, соцветие, сережка, лепесток, тычинка, пестик, пыльца, ягода, шишка, шишковаягода, орех, зерно, крупа. Побеги – стволики, лианы, стебли, ветви, прутья. Покровные органы – кора, береста, луб, лыко, плюска, шелуха, скорлупа. Выделения – сок, нектар цветков, нектар листьев, латекс (млечный сок), гутта, камедь, смола, бальзам (смолка), сера, пот, душистые летучие вещества (летучки), освежающие летучие вещества (летучки). Опад и отпад – сухая трава, листва, хвоя, ветви, подстилка, валежник. Растительные залежи и их производные – торф, торфяная вода, гумус, сапропель. Продукты жизнедеятельности насекомых и микроорганизмов – шурльта, мед, перга, прополис, воск червеца, куколки муравьев.

Продукты жизнедеятельности организмов и опада (в том числе залежи) отнесены ко вторичной продукции или, что одно и то же, к продуктам природной переработки, так как образованы в результате воздействия природных же факторов на первичную растительную органику.

У растущего растения имеются опадные и неопадные органы. К опадным относятся ягоды, орехи, цветки, листья; после выполнения своих функций они отделяются от растения сами, так что аккуратное изъятие их в положенное время безвредно для особи. К неопадным относятся молодые побеги, стебли, стволики, корни, почки, турионы, изъятие которых сопряжено с возможным повреждением особи.

*Классификация по типам пользования и способам сбора*

Особенности продуктов определяют тип пользования и способ сбора. По воздействию на растение обособливаются четыре типа пользования: безраневое, раневое, глубокое (или парциальное), полное.

Безраневое изъятие – такой тип прижизненного использования, при котором пользователь либо не прикасается к растению, либо берет то, что само отделяется; типичен для опадных, выделяющихся продуктов и некоторых видов вторичной продукции (шурльта, воск, мед, прополис, перга). При

раневом изъятии особи наносится ранение в расчете на эволюционную подготовленность растения заживлять раны, способность к регенерации утраченных частей; типично для неопадных органов растений. При парциальном или глубоком изъятии используется такая доля растения, что индивид как таковой исчезает с места обитания, но из оставшихся частей растения возникают дочерние особи; процесс прерывается на некоторое время, затем возникает вновь; типично для неопадных органов растений, например для корневищных продуктов. При полном изъятии используется все растение или все органы, ответственные за жизнеобеспечение, без которых нет даже дочернего восстановления от частей изъятых индивида.

Четырем типам пользования соответствуют восемь разнокачественных способов сбора урожая: с помощью насекомых (пчела, червец), сбор опада, сбор с растения, подсочка, обрывание и срезание, скашивание, рубка, выкапывание.

#### *Классификация по морфологическим признакам*

Технология пользования в существенной мере определяется размерами продуцирующих растений, прежде всего высотой. С продукционной позиции растения классифицируются по морфологическим признакам на  $4 \cdot 4 \cdot 4 = 64$  подразделения. Обобщающее звено классификации – 4 жизненные формы, среднее – 4 морфогруппы по высоте, третья – 4 группы размещения по площади произрастания (табл. 2).

По своему высотному сложению растения бывают: покровные (ковровые), зарослевые, древостойные. Все древесные растения образуют древостой. Кустарники, деревца кустарникового полога и крупные травы попадают под категорию заросли. Самые приземистые травы и кустарники образуют покров или ковер.

Таблица 2

#### **Признаки морфологической классификации продовольственных растений**

Морфогруппы по высоте* основных жизненных форм			
Травы	Кустарники	Деревца	Деревья
Покровные, до 0,2 м	Покровные, до 0,2 м	Стелющиеся, полог до 2...4 м	Третьей величины, 7...15 м
Низкие, 0,21...0,60 м	Низкие, 0,21...1,00 м	Среднекустарникового яруса, 0,5...2,0 м	Второй величины, 16...25 м
Средние, 0,61...1,00 м	Средние, 1,01...2,00 м	Высококустарникового яруса, 2,1...6,0 м	Первой величины, 26...35 м
Высокие, более 1,0 м	Высокие, более 2,0 м	Низкодеревого яруса, 7,0...10,0 (15,0) м	Гиганты, 36...45 м

\* В каждой из 16 морфогрупп 4 группы размещения по площади (сплошное, куртинное, групповое, рассеянное), таким образом создаются  $16 \cdot 4 = 64$  подразделения.

*Классификация «Лесопродукционный конвейер»*

Продукты леса, созревая каждый в свой срок, образуют лесопродукционный конвейер урожая. Он непрерывен в течение года и ориентирует человека на посезонный круглогодичный конвейер сбора этих урожая. Рассматриваемые здесь продукты представляют фрагменты непрерывного конвейера по месяцам года.

Январь – пик заготовки зимних продуктов: это свидина, шишки ольхи, шульты, чага, шандра, пихтовая лапка, хвоя, прутья, зимний хвощ, бальзам, а также аралия, элеутерококк, грушанка, зимолоубка, шиповник, омела. В феврале то же, что и в январе. Март – шандра, побеги маньчжурского ореха, зимние продукты (января). Апрель – пыльца ольхи и лещины, цвет ивы, кора, луб, соки маньчжурского ореха, березовый, кленовый; грушанка, зимолоубка. Май – березовый сок (первая декада), турионы аралии, черемша (вторая и третья декады), папоротник (третья декада), ранний мед. Июнь – папоротник, жимолость (третья декада). Июль – пик меда, жимолость, голубика (вторая половина), малина, черемуха азиатская и Маака, борщевик, маньчжурский орех (восковая спелость). Август – дерен, голубика, пик грибов, актинидия, смородина, малина, черемуха, багульник, арктоус, морощка, княженика. Сентябрь – грибы, брусника, клюква, шиповник, лимонник, виноград, рябина, яблоня, калина, аир, радиола, багульник, орехи лещины, маньчжурский орех. Октябрь – клюква, кедровый и кедровостланиковый орех, маньчжурский орех, аралия, элеутерококк, лимонник, виноград, шиповник, рябина, яблоня, калина, аир. Ноябрь – ягоды элеутерококка, лимонник, виноград, калина, яблоня, шиповник, кедровый и кедровостланиковый орех, начало заготовки зимних продуктов (см. январь). Декабрь – зимние продукты (январь), новогодние елки.

*Классификация по потребительским свойствам*

Применительно к терминам, устоявшимся в области продовольственного потребления, лесные продукты подразделены на пищевые, лекарственные, парфюмерные, почвоудобряющие, нестволовые технические, поделочные, бытовые, кормовые. К пищевым относятся овощные, ягодные, ореховые, плодовые, соковые, медоносные, ароматические, вкусоулучшающие (специи, приправы), фитовые (идущие на приготовление фитов – горячих и холодных лесных напитков).

*Ресурсно-производственная классификация*

В зависимости от их количества в природе продуценты разделены на пять классов ресурса. Рес<sub>1</sub> – ресурс промышленного уровня во многих районах; концентрированные запасы и высокие урожаи указанных в этом классе растений имеются во многих районах на достаточно больших площадях, что обеспечивает высокопродуктивный сбор; расчетный размер пользования заведомо перекрывает заготовки. Рес<sub>2</sub> – ресурс промышленного уровня в отдельных районах; все то же, что и у класса Рес<sub>1</sub>, но в только в определенных районах. Рес<sub>3</sub> – ресурс сравнительно низкого промышленного уровня;

Таблица 3

**Фрагмент ресурсно-производственной классификации  
природных овощных растений**

Группа освоения	Класс ресурса (число видов)				
	Рес <sub>1</sub>	Рес <sub>2</sub>	Рес <sub>3</sub>	Рес <sub>4</sub>	Рес <sub>5</sub>
Ос <sub>1</sub>	Орляк Черемша	–	–	–	–
Ос <sub>2</sub>	Крапива (3–4) Иван-чай	Гречиха Лук(3)	–	–	–
Ос <sub>3</sub>	Мята Спорыш	Борщевик Страусопер	Мертензия (2) Щавель	Звездчатка(2) Касатик(2)	Барбарис Тмин
Ос <sub>4</sub>	Мокрец Одуванчик	Белокопытник Чистоуст	Кочедыжник Зверобой(2)	Лилия(5) Донник(2)	Пастушья сумка Спаржа
Ос <sub>5</sub>	Лабазник Липа	Аралия(2) Тростник(1)	Калужница(1) Очиток(2)	Бубенчик(3–4) Колоколь- чик(2)	Красоднев(3) Тимьян(16)
Ос <sub>6</sub>	Хвощ Полынь	Виноград(2) Бамбук	Вика(2) Кислица(1)	Чина(8) Шандра	Физалис Гладианта

растения рассредоточены по территории, сообщества расстроены сбором. Рес<sub>4</sub> – ресурс частного уровня; растения произрастают отдельными экземплярами и небольшими обособленными зарослями, которые могут обеспечить населению лишь групповые сборы для собственных нужд. Рес<sub>5</sub> – ресурс индивидуального уровня; высокая степень обособленности небольших куртин и отдельных растений или низкий урожай; обеспечивает единичные сборы.

В зависимости от степени осваиваемости продуценты подразделены на шесть групп: Ос<sub>1</sub> – промышленные заготовки; Ос<sub>2</sub> – массовые заготовки впрок местными жителями; Ос<sub>3</sub> – массовые сборы местными жителями для скорого употребления; Ос<sub>4</sub> – индивидуальные заготовки впрок отдельными сборщиками; Ос<sub>5</sub> – индивидуальные сборы отдельными сборщиками для разового употребления в кратчайшее время; Ос<sub>6</sub> – употребление на месте.

Классы ресурса и группы освоения растений сведены в ресурсно-производственные классификации. Такие классификации составлены для овощных, ягодных, плодовых, ореховых, лекарственных растений в соответствии с их количеством и освоенностью (табл. 3).

Таковы контуры продукционной флоры Дальнего Востока по овощным, ягодным, ореховым, плодовым, соковым, медоносным, лекарственным растениям. Пока классификация проведена фрагментарно. Далее необходимо конкретизировать исследования. Не менее важно классифицировать продукционную флору по частям региона (Чукотка, Камчатка, Приохотье, Курилы, Сахалин, Приамурье, Приморье).

Институт водных и экологических  
проблем ДВО РАН

Поступила 20.06.96

*A.G. Izmodenov*

**Classification of Forest Food Plants (Based on the Example of the Far East)**

The qualitative characteristic of the production flora is provided, six classifications have been created. These data aim at producing a list of forest products, their systematizing according to their size and types, deriving the type of use, providing the information about the seasonal all-year conveyer of yields ripening, determining the purpose, pointing out the resources, presenting the reclamation of raw-material and genetic stock.

---

## ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

УДК 539.383

***С.И. Морозов***

Морозов Станислав Иванович родился в 1929 г., окончил в 1952 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой теоретической механики Архангельского государственного технического университета, член-корреспондент РИА, заслуженный деятель науки и техники РФ. Имеет более 160 печатных работ в области изучения устойчивости температурно-напряженного рельсового пути, закрепления его от угона рельсов, удара тел, применения ЭВМ при решении задач механики.



### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИЛОВОЙ ФУНКЦИИ**

Изложены методики проведения экспериментов и обработки их результатов для определения параметров силовой функции, возникающей при соударении упругих и деформируемых тел.

удар, силовая функция, коэффициенты пластичности и нелинейности.

Явление удара тел широко встречается в технике, в том числе на лесозаготовках и лесотранспорте: при валке деревьев, погрузке и разгрузке бревен, столкновении вагонов и автомобилей, ударе плотов о наплавные сооружения и т. д. Поэтому необходимо знать методы и способы решения таких задач.

Удар относится к специфическому случаю взаимодействия тел. Он длится в течение долей секунды, но при этом возникают очень большие силы. В настоящее время существуют три основных способа решения задач удара, которые основаны на применении классической, деформационной и волновой теорий [6].

Классическая теория использует основные теоремы механики и введенное И. Ньютоном понятие коэффициента восстановления. Она позволяет определить скорости тел после удара и импульсы ударных сил.

Деформационная теория удара основана на расчетных зависимостях Г. Герца при контактном взаимодействии упругих тел. С ее помощью можно найти максимальное значение ударной силы, время удара, максимальную деформацию тел в зоне контакта и ряд других величин.

Волновая теория рассматривает распространение по объему соударяющихся тел волн сжатия и растяжения, возникающих при ударе. Она получила применение при расчете призматических тел.



Эти теории имеют свои достоинства и недостатки, поэтому все они находят применение на практике для решения различных задач удара.

В настоящей работе рассмотрен способ экспериментального определения силовой функции, являющийся основной расчетной величиной в деформационной теории удара.

Силовой функцией называют выражение

$$F = F(\alpha), \quad (1)$$

которая определяет силу  $F$  в зависимости от деформации  $\alpha$  двух тел в зоне их контакта.

Случай контактного взаимодействия упругих тел, имеющих форму поверхности вращения, был впервые рассмотрен теоретически немецким ученым Г. Герцем в 1881 г. [7]. Он нашел, что для этого случая силовая функция имеет вид

$$F = K\alpha^{1.5}. \quad (2)$$

Здесь величину  $K$  назовем коэффициентом Герца. Для сферических тел его значение можно определить по формуле

$$K = \frac{4}{3} \left[ \frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2} \right]^{-1} \sqrt{\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}}, \quad (3)$$

где  $E, \mu$  – модули упругости и коэффициенты Пуассона материалов взаимодействующих тел;

$R_1, R_2$  – радиусы закругления поверхности тел в точке соприкосновения при взаимодействии.

Очевидно, что выражение (3) можно представить в виде

$$K = K_0 \rho, \quad (3')$$

где  $K_0$  – множитель, зависящий только от механических свойств материала тел,

$$K_0 = \frac{4}{3} \left[ \frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2} \right]^{-1};$$

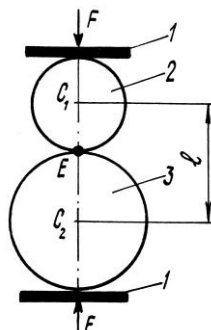
$\rho$  – приведенный радиус поверхности тел в точке их соприкосновения,

$$\rho = \sqrt{\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}}.$$

Формулу (2) и другие зависимости Герца проанализировал А.Н. Динник [1, 2]. Он установил, что значения  $F$ , рассчитанные по формуле (2) для упругих тел (сталь, чугун), незначительно отличаются от экспериментальных данных, а для пластичных (медь, свинец) – имеют существенное расхождение.

Известно, что в природе не существует абсолютно упругих тел (как и абсолютно твердых). При воздействии сил имеют место упругие и пла-

Рис. 1. Схема проведения опытов:  
1 – плоскость пресса; 2, 3 – взаимодействующие тела



стичные деформации тел. Если пластичные деформации намного меньше упругих, то в расчетах ими пренебрегают; Если они существенны, то при изучении контактного взаимодействия тел следует учитывать оба вида деформации.

В общем случае, когда тела одновременно испытывают упругие и пластичные деформации, рядом исследователей [4] было предложено выражать силовую функцию по формуле

$$F = B \alpha^n, \quad (4)$$

где  $B$  – коэффициент пластичности;

$n$  – показатель нелинейности.

Значения  $B$  и  $n$  находят экспериментально. Впервые опыты по контактному взаимодействию шаров были выполнены Г. Герцем. Затем они были повторены А.Н. Динником. Обширные опытные материалы приведены в работе [4], а их анализ и обобщение – в работе [5].

Наиболее простая методика экспериментов основана на сжатии двух сферических тел, которые устанавливают под прессом вертикально одно на другое с контактом в точке  $E$  и нагружают силой  $F$  (рис. 1). Она приводит к деформации шаров, которую можно разделить на общую и местную. Общая во много раз меньше местной, поэтому ею можно пренебречь.

Для каждой ступени нагружения измеряют расстояние  $l$  между центрами сфер (точки  $C_1$  и  $C_2$ ). Разность между начальными  $l$  и последующими их значениями в процессе нагружения равна контактной деформации шаров  $\alpha$  в точке  $E$ . Имея пары значений  $F$  и  $\alpha$ , аппроксимируют их уравнением (4), например по методу наименьших квадратов, и вычисляют значения  $B$  и  $n$ . Для определения закона разгрузки тел после снятия силы  $F$  на каждой ступени нагружения находят также остаточную деформацию  $\alpha_1$ .

В качестве примера определения  $B$  и  $n$  воспользуемся экспериментальными данными А.Н. Динника, приведенными в работе [2]. Хотя им почти 100 лет, они не потеряли своей актуальности и могут быть использованы для анализа различных случаев контактного взаимодействия двух тел.

Результаты экспериментов А.Н. Динника для сжатия шаров из закаленной стали представлены в табл. 1. Здесь рассмотрены четыре случая.

Таблица 1

$F$ , Н	$\alpha \cdot 10^5$ , м	$\alpha_1 \cdot 10^5$ , м	$F'$ , Н	$F''$ , Н	$F$ , Н	$\alpha \cdot 10^5$ , м	$\alpha_1 \cdot 10^5$ , м	$F'$ , Н	$F''$ , Н
$2R = 0,0127$ м; $\rho = 0,05635$ м					$2R = 0,1126$ м; $\rho = 0,07969$ м				
1000	4,83	0,18	1033,2	985,4	1000	3,74	0,05	1009,5	999,2
2000	7,81	0,51	1989,0	2062,3	2000	5,94	0,12	1984,0	2000,7
3000	10,33	1,34	2945,2	2900,2	3000	7,89	0,29	2986,8	3020,4
4000	12,83	1,72	3992,3	4102,0	4000	9,56	0,39	3975,5	4026,5
5000	14,98	2,48	4969,0	5027,7	5000	11,12	0,54	4951,5	5012,1
6000	17,33	3,09	6088,3	6158,9	6000	12,67	0,70	5998,6	6054,8
7000	19,14	3,88	6999,2	6897,7	7000	14,11	0,99	7019,8	6967,8
8000	21,14	4,68	8046,6	7807,9	8000	15,50	1,28	8052,4	7881,8
$2R = 0,0190$ м; $\rho = 0,06892$ м					$2R = 0,0286$ м; $\rho = 0,08456$ м				
1000	4,11	0,10	1001,8	1254,6	1000	3,60	0	1001,4	989,7
2000	6,68	0,22	2002,4	7445,4	2000	5,80	0,06	2018,9	2027,1
3000	8,86	0,50	2995,4	3336,9	3000	7,51	0,15	2951,8	2972,1
4000	10,82	0,85	3982,9	4217,3	4000	9,24	0,22	4003,6	4063,3
5000	12,60	0,73	4949,0	5319,5	5000	10,74	0,38	4994,6	5027,8
6000	14,39	1,61	5981,0	5869,1	6000	12,20	0,55	6024,0	6022,1
7000	16,16	1,65	7056,9	6949,7	7000	13,45	0,73	6956,7	6893,2
8000	17,72	2,69	8047,7	7283,1	8000	14,88	0,90	8066,4	7970,6

В пределах одного опыта шары имеют одинаковые радиусы:  $R_1 = R_2 = R$ , но в разных опытах они различны. Приведенным значениям силы  $F$  соответствуют полная  $\alpha$  и остаточная  $\alpha_1$  деформации. Каждый массив данных  $F(\alpha)$  был аппроксимирован по методу наименьших квадратов [3], что позволило найти значения  $B$  и  $n$  (табл. 2).

Для оценки точности аппроксимации по формуле (4) были вычислены силы  $F'$ , которые также представлены в табл. 1. Вычисленные  $F'$  и исходные  $F$  практически совпадают, что свидетельствует о высокой точности аппроксимации.

Данные табл. 2 показывают, что коэффициенты пластичности  $B$  и нелинейность  $n$  зависят от приведенного радиуса закругления  $\rho$ .

По аналогии с формулой (3') представим

$$B = B_0 \rho. \quad (5)$$

Таблица 2

$\rho$ , м	$B \cdot 10^{-9}$ , Па	$n$	$B_0 \cdot 10^{-10}$ , Па	$A \cdot 10^{-9}$ , Па	$m$
0,05635	1,05792	1,40359	2,05487	12,45310	1,63919
0,06892	1,79807	1,42585	2,60892	6,35283	1,54972
0,07969	2,95153	1,46053	3,70378	7,10836	1,54745
0,08456	3,41663	1,47017	4,04048	6,75575	1,53796

Значения  $B_0$  приведены в табл. 2. Они зависят от  $\rho$ , т. е.  $B$  и  $\rho$  связаны между собой более сложной зависимостью, чем  $K$  и  $\rho$ .

Показатели степени  $n$  при ударе пластичных тел являются функцией от  $\rho$  (в отличие от упругого удара, для которого  $n = 1,5 = \text{const}$ ).

Таким образом, значения  $B$  и  $n$  по-другому зависят от  $\rho$ , чем при упругом ударе. Из экспериментальных данных в работе [2] нельзя получить убедительного объяснения этого факта. Очевидно, требуется более глубокий анализ, основанный на использовании теории деформирования пластичных тел. Он требует отдельного рассмотрения и в нашей статье не приводится.

Данные табл. 1 позволяют также проанализировать взаимодействие тел во второй фазе удара, т. е. фазе разгрузки. Обычно в этом случае для описания деформирования тел используют формулу Герстнера [6]

$$F = K (\alpha - \alpha_1)^{1,5}. \quad (6)$$

Однако попытка применить ее при анализе рассматриваемого экспериментального материала не привела к положительному результату.

Нами сделано предположение, что силовая функция в фазе разгрузки выражается более сложно и имеет вид

$$F = A(\alpha - \alpha_1)^m. \quad (7)$$

Коэффициенты  $A$  и  $m$  уравнения (7) находят аппроксимацией экспериментальных данных табл. 1 по методу наименьших квадратов. Результаты такой аппроксимации (т. е. значения  $A$  и  $m$ ) приведены в табл. 2.

По результатам аппроксимации вычислены значения силы  $F''$  на стадии разгрузки (табл. 1). Можно отметить, что фактические  $F$  и расчетные  $F''$  значения хорошо совпадают.

Результаты обработки опытов позволяют построить графики зависимости  $F(\alpha)$ : для фазы загрузки – по формуле (4), для фазы разгрузки – по формуле (7). Они приведены на рис. 2. Хотя закаленная сталь является малопластичным материалом, кривые 1 и 2 заметно расходятся, т. е. пластичные деформации имеют место и в данном случае.

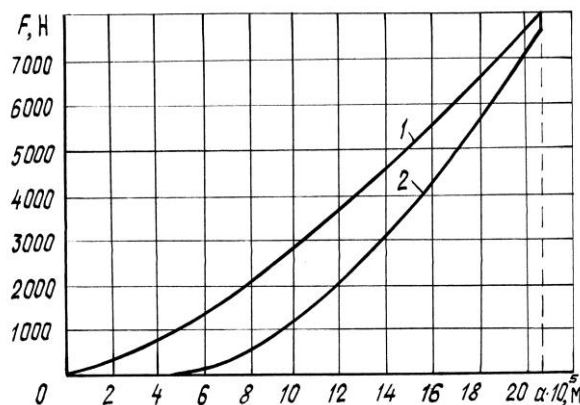


Рис. 2. Зависимость  $F(\alpha)$  для случая  $\rho = 0,05635$  м и  $\alpha_1 = 4,68 \cdot 10^{-5}$  м: 1 – фаза загрузки; 2 – фаза разгрузки

Экспериментальные зависимости (4) и (7) могут быть использованы также для анализа различных случаев соударения тел. С помощью формулы

$$\alpha_m = \left[ \frac{(1+n)Mv_n^2}{2B} \right]^{\frac{1}{1+n}},$$

приведенной в работе [5], можно выразить относительную скорость соударения шаров  $v_n$ :

$$v_n = \sqrt{\frac{2B\alpha^{1+n}}{(1+n)M}}, \quad (8)$$

где  $M$  – приведенная масса шаров.

Таким образом, каждому значению  $F$  при сжатии шаров будет соответствовать определенная скорость их соударения. Например, используя данные табл. 1 и 2 для случая  $\rho = 0,05635$ , по формуле (8) получаем ряд значений  $v_n$  (табл. 3). Эти расчеты выполнены при  $B = 1,05792 \cdot 10^9$  Па,  $n = 1,40359$ ,  $M = 0,0083657$  кг. Значения  $\alpha$  даны в табл. 1. Аналогичные вычисления можно выполнять и для всех других случаев сжатия тел.

Таблица 3

$F$ , кН	$v_n$ , м/с	$\varepsilon$	$F$ , кН	$v_n$ , м/с	$\varepsilon$
1	2,11	0,670	5	8,22	0,646
2	3,76	0,659	6	9,79	0,643
3	5,25	0,653	7	11,03	0,640
4	6,22	0,650	8	12,43	0,638

Отметим также, что связь между сжатием шаров и их соударением можно продолжить. Помимо показателей пластичности материалов взаимодействующих тел, в классической теории удара используют понятие коэффициента восстановления  $\varepsilon$ .

Связь между  $\varepsilon$ ,  $B$ ,  $n$  и другими величинами, характеризующими процесс взаимодействия тел, выражается по формуле

$$\varepsilon = \frac{1}{v_n} \sqrt{\frac{4}{5M} B^{\frac{5}{6(1+n)}} \left[ \frac{(1+n)Mv_n^2}{2} \right]^{\frac{5n}{6(1+n)}}}. \quad (9)$$

Вычисленные по ней значения  $\varepsilon$  приведены также в табл. 3. Они вполне соответствуют данным ряда других работ.

Однако следует учесть, что эксперименты по сжатию тел проводятся в статике, а удар является динамическим процессом, что может существенно повлиять на механические свойства материалов тел. Поэтому необходимо проанализировать влияние скорости приложения силы  $F$  на параметры удара.

Таким образом, рассмотренная методика обработки материалов экспериментов, приведенных в работе [2], позволяет сравнительно просто най-

ти значения расчетных величин  $A$ ,  $B$ ,  $m$  и  $n$  при контактном взаимодействии двух тел. Следовательно, такие эксперименты возможно проводить и в настоящее время, используя более современную измерительную аппаратуру.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Динник А.Н. Формула Гертца и ее экспериментальная проверка // ЖФХО. – 1906. – № 4.
2. Динник А.Н. Удар и сжатие упругих тел: Избр. тр. Т. 1. – Киев.: Изд-во АН УССР, 1952. – 152 с.
3. Дьяконов В.П. Справочник по расчетам на микрокалькуляторах. – М.: Наука, 1985. – 224 с.
4. Инженерные методы исследования удара тел / Г.С. Батуев, Ю.В. Голубков, В.К. Ефремов, А.А. Федосев. – М.: Машиностроение, 1969. – 240 с.
5. Морозов С.И., Попов М.В. Контактная теория удара. Конспект лекций по элементарной теории. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 1999. – 42 с.
6. Пановко Я.Г. Введение в теорию механического удара. – М.: Наука, 1977. – 224 с.
7. Hertz H. Über die Berührung fester elastischer Körper // Crell'es Journ. – 1881. – Bd 92.

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 11.05.2000 г.

*S.I. Morozov*

#### **Experimental Characterization of Forcing Power**

The techniques are provided for conducting the experiments and processing their results for characterization of forcing power concerning the collision of elastic and deformable bodies.

---

УДК [625.72:625.711.84]:51-7 +330.322.5

***Г.А. Борисов, В.Д. Кукин, В.И. Кузина***

Борисов Георгий Александрович родился в 1935 г., окончил в 1958 г. Ленинградский политехнический институт, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории моделирования природно-технических систем Института прикладных математических исследований КарНЦ РАН. Имеет 53 работы в области автоматизированного проектирования лесотранспорта.



Кукин Валерий Дмитриевич родился в 1942 г., окончил в 1966 г. Горьковский университет, научный сотрудник лаборатории моделирования природно-технических систем Института прикладных математических исследований КарНЦ РАН. Имеет 37 печатных работ в области автоматизированного проектирования лесотранспорта.



Кузина Валентина Ивановна родилась в 1948 г., окончила в 1978 г. Ленинградский университет, научный сотрудник лаборатории моделирования природно-технических систем Института прикладных математических исследований КарНЦ РАН. Имеет 17 печатных работ в области автоматизированного проектирования лесотранспорта.



## **МЕТОДЫ ПОИСКА НАИВЫГОДНЕЙШЕГО ВАРИАНТА СЕТИ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ**

Излагается новая методика оптимального проектирования сетей лесовозных дорог на основе решения задачи Штейнера – Вебера. Используются эвристические и комбинаторные методы, случайный поиск и современные методы оценки эффективности инвестиций в условиях рынка.

сеть лесовозных дорог, задача Штейнера – Вебера, итерация решения на ЭВМ.

В истории развития методов оптимизации параметров и схем транспортного освоения лесных массивов [1–7, 11, 14, 16] ясно просматриваются тенденции их усложнения и повышения точности решений при одновремен-

ном смягчении допущений в математических моделях и увеличении их адекватности объекту.

Применявшиеся в простейших аналитических моделях методы оптимизации углов примыкания, расстояний между путями одного вида, размеров и форм лесосырьевых баз [5–7, 14] давали типовые решения на основе усредненных характеристик лесосырьевых баз, не учитывающие разнообразия локальных неоднородностей территорий.

Методы линейного, нелинейного и целочисленного программирования позволили осуществлять комплексную оптимизацию положения элементов сети на заданном множестве точек [2, 16]. Основное допущение в соответствующих моделях заключалось в том, что в каждой из множества точек, априори выбранных на территории лесосырьевой базы, собирают древесину с близлежащего участка и затем доставляют на нижний склад. Это достаточно реально при концентрации древесины на погрузочных площадках и с учетом сроков примыкания лесосек.

Другое допущение заключалось в том, что из множества отрезков дорог выбирались те, которые соединяют только фиксированные точки, где сходятся пути или перегружают на автотранспорт древесину. Правда, условия в окрестности каждой из точек и на каждом участке дорог, их соединяющих, можно было учитывать обособленно и довольно точно. Возможности больших ЭВМ позволяли решать задачи с несколькими сотнями неравенств (соответственно, фиксированных точек), довольно подробно отображавших лесотранспортную сеть.

При таких методах выбора наивыгоднейшего варианта сети оказалось возможным учесть неправильность формы лесосырьевой базы предприятий, неоднородность распределения запасов леса и геологических условий строительства дорог и условий вывозки. Однако эти методы имеют и существенные недостатки: невозможно определить оптимальное положение развилки дорог и учесть фактор времени. Первый недостаток можно в некоторой степени исправить итеративными методами оптимизации координат развилки дорог [3], в большей – переходом к модифицированной задаче Штейнера [11]; второй – определением очередности строительства сети дорог с использованием методов динамического программирования [4].

В сравнении с вариантами проектировщиков и при подготовленных ими исходных данных в разных регионах страны оптимизация структуры сети и положения ее элементов на заданном множестве точек методом линейного программирования [2] позволила снизить суммарные затраты (на строительство сетей и вывозку по ним древесины): в Казахском леспромпхозе в среднем на 1,5, Кемском – на 23,1, Ертомском – на 5,8, Зеленодоском – на 10,2 %. При определении оптимальной очередности строительства участков лесотранспортной сети с использованием идеи динамического программирования [4] суммарные приведенные затраты уменьшились на 1,8 %. Решение задачи Штейнера [11] с перебором топологий и оптимизацией координат развилки на реальных сетях давало значительное снижение суммарных затрат: на отдельных фрагментах от 2 до 27 %.



В последние годы произошли кардинальные изменения в видах ответственности и соответственно в организации, технологии и экономике лесопромышленного производства. В целом можно говорить об изменении критериев и значительном расширении спектра производственных и финансово-экономических условий, которые неизбежно влияют на стратегию освоения лесных массивов. В этих условиях необходима разработка таких математических моделей и методов, которые соответствуют новым требованиям и позволяют:

учитывать возможный диапазон масштабов и технологий лесопромышленного производства, а также интересы различных производителей, в том числе и частных предпринимателей с минимальными объемами заготовки древесины;

формировать и комплексно оценивать различные варианты стратегии освоения лесосырьевой базы;

использовать современные методы оценки экономической эффективности вложения инвестиций в транспортное освоение лесосырьевой базы.

5

Учитывая эти требования и используя опыт автоматизированного проектирования сетей лесовозных дорог [1], мы разработали новый подход к решению этой проблемы в условиях ограничения инвестиций, с применением методов оптимизации и финансового менеджмента [8–10]. В основе подхода – формирование множества вариантов стратегии освоения лесосырьевой базы.

Этот подход реализуется в разрабатываемом нами прототипе системы STEIN для персонального компьютера. Система имеет два относительно самостоятельных блока: проектирования и экономического. Процесс формирования множества допустимых вариантов стратегии – итеративный диалоговый процесс, в котором, наряду с автоматизированными расчетами, требуется активное участие специалистов.

Каждая итерация может включать следующие этапы.

1. Работа с блоком проектирования системы STEIN. Для конкретной лесосырьевой базы проектируется сеть лесовозных дорог оптимальной конфигурации с минимизацией затрат на строительство и транспортировку древесины [8].

2. Формирование стратегии освоения лесосырьевой базы на предполагаемый срок функционирования. Каждый вариант включает две составляющие: план очередности освоения [9] и соответствующий ему вариант инвестирования (размер инвестиций, их распределение по годам, условия кредитования и т. д.).

3. Работа с экономическим блоком системы STEIN. Для каждого варианта стратегии освоения рассчитывают основные показатели эффективности использования инвестиций [10]: чистый дисконтированный доход (ЧДД), внутренняя норма доходности (ВНД), индекс доходности (ИД), срок окупаемости (СО).

4. Анализ вариантов стратегии транспортного освоения лесосырьевой базы с использованием полученных показателей и выбор наиболее привлекательных.

5. Оценка финансового риска выбранных вариантов и принятие решения.

Внутри некоторых этапов тоже заложен итеративный перебор. Например, при заданных условиях инвестирования и сроке освоения базы рассматриваются различные планы очередности. Рассчитываются показатели при одном и том же варианте очередности освоения, но различных экономических условиях его реализации. Поэтому, анализируя ряд взаимосвязанных изменений, можно получить не полный цикл этапов. Кроме того, на каждом этапе надо учитывать обратную связь.

Кратко поясним отдельные этапы изложенного подхода и используемые методы.

Для проектирования сети дорог на фиксированных точках запасов древесины как на вершинах графа решается задача Штейнера – Вебера: расширение известной задачи Штейнера для случая потоков с зависящими от них весами [8]. Проект сети дорог представляется моделью в виде некоей плоской реализации ориентированного графа – корневого дерева, дугами которого являются участки дорог, а вершинами – центры запасов древесины в лесных кварталах (фиксированные вершины) и свободно размещаемые развилки (точки Штейнера). В модели заложены оптимизационные методы различных классов и эвристический поиск.

При решении задачи оптимизации сети на разных этапах были преодолены трудности, порожденные рядом усложняющих особенностей объекта: многопараметричность целевой функции и разнородность управляемых параметров, перераспределение потоков при изменении топологии сети, дискретность и структурная зависимость целевой функции из-за дискретности изменения затрат при суммировании потоков в развилках.

Для нахождения локальных экстремумов на фиксированной топологии (построении дерева Штейнера) был выбран приспособленный к нашей задаче алгоритм случайного поиска экстремума многопараметрической функции с самообучением [15].

При поиске глобального экстремума (минимального дерева Штейнера) должна решаться NP-полная задача, которая даже теоретически считалась безнадежной уже при размерности 10 фиксированных вершин, а практически ее не пытались решить и при меньших размерностях. К тому же среди всех деревьев Штейнера на заданном множестве фиксированных вершин лишь незначительная часть неэквивалентна, а подавляющее большинство получается автоморфными перестановками с перенумерацией точек Штейнера. Требовался поисковый алгоритм, исключающий структурно-эквивалентные подзадачи. Для решения этой комбинаторной задачи существенным шагом был переход к дереву с полной топологией и компактным способом ее записи. Был создан оригинальный алгоритм формирования и исчерпывающего избыточного перебора полных топологий, аналогов

которого не удалось найти в литературе. Появилась возможность реализовать на компьютере работу с фрагментами сети размерности до 12 фиксированных вершин. Это позволило с помощью системы STEIN решать более простые подзадачи, перечисленные ниже.

Система STEIN позволяет автоматически производить процедуру преобразования связывающей сети в полное дерево; строить исходное полное дерево на заданном множестве фиксированных вершин геометрически достаточно близко к локальному экстремуму; искать глобальный экстремум в диалоге, используя опыт проектировщика. Среди различных приемов поиска наиболее продуктивной оказалась работа с фрагментами. Возможно автоматическое разбиение полного дерева на фрагменты или эвристическое задание фрагментов различными способами. Выделенный фрагмент решается в автоматическом режиме, как самостоятельная подзадача с полным или выборочным перебором топологий. Разработан эффективный алгоритм фильтрации – отбора сгенерированных топологий и отсечения явно неперспективных вариантов.

В результате работы с блоком проектирования системы STEIN строится схема лесотранспортной сети в виде дерева Штейнера с относительно оптимальной конфигурацией и оптимальным расположением развилок.

*Формирование множества допустимых вариантов стратегии* можно начинать с реализации какого-то оценочного варианта очередности освоения лесосырьевой базы. Его задают вне системы, исходя из анализа решения, полученного на предыдущем этапе. Для выбранного срока освоения строят некоторый план очередности: каждой дуге проектируемой сети приписывают год окончания строительства соответствующей дороги, каждой фиксированной вершине – год вывозки древесины из соответствующего квартала. Рассчитывают вариант очередности: находят распределенные по годам освоения базы объемы вывозки древесины по всем дугам и соответствующие потоки строительных и транспортных затрат.

Дисконтированные суммарные затраты по каждой дуге за весь срок эксплуатации лесосырьевой базы рассчитывают по формуле (1), суммарные затраты по годам – по формуле (2).

Дисконтированные суммарные затраты на дуге с номером  $i$ :

$$S(i, j) = Kd(k)K(j)Ek(i)E(j)L(i) + \sum_{t=k}^n Kd(t)T(j)Et(i)E(j)V(i, t)L(i), \quad (1)$$

где  $i$  – номер дуги;

$j$  – категория дороги на дуге  $i$ ;

$k$  – год строительства и начала эксплуатации дуги  $i$ ;

$n$  – последний год эксплуатации дуги  $i$ ;

$K(j)$  – строительные затраты на 1 км дороги категории  $j$ ;

$T(j)$  – транспортные затраты на 1 м<sup>3</sup> · км дороги категории  $j$ ;

$L(i)$  – длина дуги  $i$ , км;

$V(i, t)$  – поток по дуге  $i$  в год  $t$ , м<sup>3</sup>;

$Ek(i)$  – коэффициент строительных затрат на дуге  $i$ ;

$Et(i)$  – коэффициент транспортных затрат на дуге  $i$ ;  
 $E(j)$  – зональный коэффициент развития для дорог категории  $j$ ;  
 $Kd(t)$  – коэффициент дисконтирования года  $t$ .

Дисконтированные суммарные затраты на транспортной сети в год  $t$ :

$$Su(t) = Sr(t) + Tr(t), \quad (2)$$

где  $Sr(t)$ ,  $Tr(t)$  – соответственно дисконтированные суммарные строительные и транспортные затраты года  $t$ .

В экономическом блоке системы уточняют необходимые инвестиции и схему финансирования в целом и по годам освоения базы. Определяют план погашения кредита и выплаты процентов. Рассчитывают дисконтированные денежные потоки и находят основные показатели эффективности использования инвестиций: ЧДД, ВНД, ИД, СО – в соответствии с официальными методическими рекомендациями [12]. Анализ этих показателей позволяет отобрать наиболее привлекательные варианты стратегии освоения. В нашем случае вполне корректно ранжирование вариантов по убыванию ВНД. Во-первых, все варианты вложения инвестиций исключают друг друга, ограничены и не допускают большого разброса; во-вторых, денежные потоки, связанные со строительством дорог, являются регулярными; поэтому уравнение поиска ВНД имеет единственный положительный корень. (ВНД представляет внутреннюю процентную ставку; ее находят как корень степенного уравнения, коэффициентами которого являются элементы денежных потоков. Степень уравнения определяется сроком освоения базы.) Ранжирование позволяет сразу отбросить те варианты, у которых ВНД меньше процентной ставки, требуемой инвестором. Окончательное решение принимают после оценки рисков выбранных вариантов, при этом главным критерием служит ЧДД.

Мы полагаем, что подход, реализуемый в прототипе системы STEIN, делает ее инструментом для поиска и выбора оптимального варианта транспортного освоения лесосырьевой базы в новых экономических условиях. Система открыта для дальнейшего расширения или изменения ее функций, возможных по причинам экономического, правового и нормативного порядка. В частности, это относится к экономическому блоку системы, что связано с появлением второй редакции официальных методических рекомендаций [13].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисов Г.А. Методы автоматизированного проектирования лесотранспорта. – Петрозаводск: Карелия, 1978. – 198 с.
2. Борисов Г.А., Герасимов Б.С., Сюкияйнен Р.А. Оптимизация схемы транспортного освоения лесосырьевой базы методами линейного программирования // Лесн. журн. – 1969. – № 2. – С. 123–128. – (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Борисов Г.А., Земляченко В.Н. Итеративный метод улучшения транспортных сетей лесозаготовительных предприятий // Лесн. журн. – 1971. – № 5. – С. 51–54. – (Изв. высш. учеб. заведений).

4. *Борисов Г.А., Земляченко В.Н.* Определение очередности транспортного освоения лесных массивов // Лесн. журн. – 1973. – № 1. – С. 145–149. – (Изв. высш. учеб. заведений).
5. *Венценосцев Ю.Н.* Основы теории лесопромышленных производств. – М.: Лесн. пром-сть, 1966. – 158 с.
6. *Ильин Б.А.* Проектирование и организация лесозаготовительных предприятий. – М.; Л.: Гослесбуиздат, 1955. – 428 с.
7. *Ильин Б.А., Кувалдин Б.И.* Проектирование, строительство и эксплуатация лесовозных дорог. – М., 1982. – 384 с.
8. *Кукин В.Д., Кузина В.И.* Задача Штейнера и методика проектирования лесотранспортных сетей // Сб. тр. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1994. – Вып. 1. – С. 71–81.
9. *Кукин В.Д., Кузина В.И.* Реализация концепции очередности освоения лесосырьевой базы в системе STEIN // Методы математического моделирования и информационные технологии: Тр. ИПМИ КарНЦ РАН, 1999. – Вып. 1. – С. 169–174.
10. *Кукин В.Д., Кузина В.И.* Оценка эффективности инвестиций в освоении лесосырьевой базы // Там же. – С. 175–180.
11. *Кукин В.Д., Тяглик Л.В.* Задача Штейнера в приложении к транспортным сетям леспромхозов // Автоматизация проектирования транспортного и мелиоративного освоения лесных массивов: Матер. Всесоюз. симпозиума. – Петрозаводск: КарФ АН СССР, 1979. – С. 50–54.
12. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов и их отбору для финансирования. Утв. Госстроем России, Минэкономики РФ, Минфином РФ, Госпромом России 31 марта 1994 г. № 7-12/47.
13. Методические рекомендации по оценке инвестиционных проектов: Офиц. изд. – 2-я ред. / Руковод. В.В. Коссов, В.И. Лившиц, А.Г. Шахназаров. – М.: ОАО «НПО «Изд-во «Экономика», 2000. – 421 с.
14. *Невесский Н.М.* Новые методы составления планов лесозаготовки лесных массивов. – М.: Гостехиздат, 1930. – Вып.1. – 40 с.
15. *Расстригин Л.А.* Системы экстремального управления. – М.: Наука, 1974. – 630 с.
16. *Суриков В.Т.* Экономико-математическая модель оптимальных схем лесотранспорта // Лесн. журн. – 1988. – № 3. – С. 27–31. – (Изв. высш. учеб. заведений).

Институт прикладных математических исследований КарНЦ РАН

Поступила 10.03.99

*G.A. Borisov, V.D. Kukin, V.I. Kuzina*  
**Methods of Searching the Best Profitable Variant  
for the Forest Road Network**

The new technique of optimal designing for forest road networks based on the Steiner–Weber problem solution is presented. Heuristic and combinatorial methods, random search and modern methods of estimating the investment efficiency in the market conditions are used.

УДК 625.711.84 + 625.31

**В. С. Морозов**

Морозов Владимир Станиславович родился в 1955 г., окончил в 1978 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры строительной механики и сопротивления материалов Архангельского государственного технического университета. Имеет более 40 печатных работ в области строительства и эксплуатации зимних лесовозных дорог.



### К ВОПРОСУ О РАСЧЕТЕ ТОЛЩИНЫ ЗИМНИХ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ НА БОЛОТАХ

Дано обоснование расчетной схемы и ее математической модели для определения толщины зимних лесовозных дорог на болотах.

зимние дороги, болота, толщина, модуль упругости, напряжения.

В настоящей статье дается обоснование расчетной схемы для определения толщины зимних лесовозных дорог на болотах и методика ее определения в разных условиях. Такая задача неоднократно исследовалась нами ранее [3–7, 9], но она требует уточнения.

Несущий слой мерзлого торфа можно рассматривать как тонкую плиту, лежащую на основании из талого торфа меньшей прочности. Эта предпосылка была выдвинута в работах [1, 10 и др.], однако подтверждалась в основном умозрительными рассуждениями. Нами накоплен достаточный аналитический и расчетный материал, который позволяет дать количественное подтверждение.

Напряженно-деформированное состояние дорожной одежды из мерзлого торфа исследовано нами двумя способами: методом конечных элементов и с помощью формул продольно-поперечного изгиба балок бесконечно большой длины, лежащих на линейно-деформируемом основании [2].

Метод конечных элементов подробно рассмотрен в работе [5]. Из материалов, полученных при обработке данных расчета, наибольший интерес представляет график распределения нормальных напряжений по толщине мерзлого торфа (рис. 1). Изменяется не только их значение, но и знак, что имеет место при изгибе плит или балок.

Этот результат является весьма существенным, так как при расчете по методу ко-

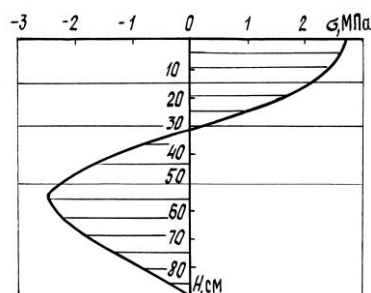
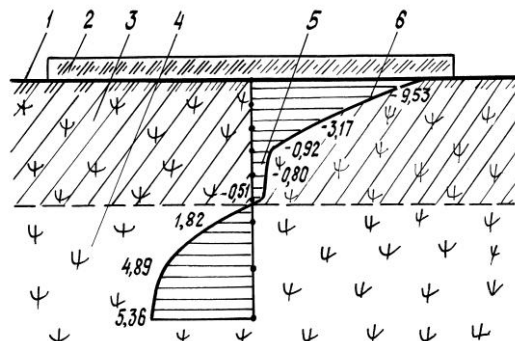


Рис. 1. График распределения нормальных напряжений  $\sigma$  по толщине мерзлого торфа  $H$

Рис 2. Экспериментальные данные распределения температур по толщине основания зимней дороги: 1 – поверхность болота; 2 – слой снегольда; 3 – мерзлый торф; 4 – талый торф; 5 – зона фазовых переходов; 6 – график распределения температур по толщине основания



нечных элементов не задаются какими-либо предпосылками по виду расчетной схемы. Известно только, как модули упругости мерзлого и талого торфа распределяются по толщине болота в соответствии с графиком изменения температуры, наподобие экспериментального графика, приведенного на рис. 2.

Рис. 1 показывает, что в крайних нижних волокнах плиты из мерзлого торфа напряжения равны нулю, т. е. модуль упругости в этих волокнах мало отличается от модуля упругости талого торфа. Напряжения равны нулю также на границе между зонами сжатия и растяжения. Следовательно, через нее проходит нейтральная плоскость.

Наконец, в соответствии с теорией изгиба балок и плит, лежащих на линейно-упругом основании, в зонах сжатия и растяжения нормальные напряжения в некоторых волокнах максимальны. Из графика на рис. 1 видно, что максимум растягивающих напряжений  $\sigma_{\max}$  приходится на волокна, расположенные между нейтральной плоскостью и основанием из талого торфа. Значение  $\sigma_{\max}$  используют при определении прочности мерзлого торфа и требуемой толщины слоя мерзлого торфа для пропуска по дороге автомобиля заданной нагрузки.

Таким образом, предпосылка о том, что слой мерзлого торфа можно рассматривать как плиту, лежащую на линейно-деформированном основании, подтверждается результатами расчета основания по методу конечных элементов. Она подтверждается также данными экспериментов по измерению напряжений на действующих дорогах с помощью грунтовых динамометров [8].

При расчете на прочность лесовозной автомобильной дороги при нагрузке ее лесовозным автопоездом с прицепом-ропуском за расчетную можно принять нагрузку от прицепа. Колеса автомобиля находятся достаточно далеко от прицепа и на нагрузку от него практически не влияют (рис. 3). Это обстоятельство облегчает расчет дорожной одежды и не влияет на ее прочность.

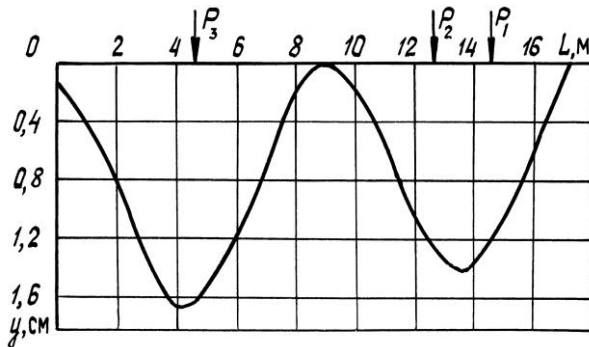


Рис. 3. Кривая продольных прогибов  $y$ :  $P_1, P_2$  – нагрузка от осей автомобиля;  $P_3$  – нагрузка от прицепа-ропуска

Рассмотрим результаты расчета зимней дорожной одежды, используя теорию изгиба балок и плит бесконечно большой длины, лежащих на линейно-деформированном основании.

Первая особенность плиты из мерзлого торфа заключается в том, что (в отличие от обычных строительных конструкций) ее температура изменяется по толщине (рис. 4), имея обычно максимальное отрицательное значение на поверхности дороги и понижаясь до нуля на некоторой глубине, являющейся границей мерзлой и талой зон торфа. Пропорционально температуре изменяется и модуль упругости мерзлого торфа  $E$ . Его значение наибольшее на поверхности дороги и постепенно уменьшается по толщине. На границе между мерзлым и талым торфом он равен модулю упругости талого торфа, который весьма мал по сравнению с модулем мерзлого торфа на поверхности дороги. Поэтому можно принять, что при  $\Theta = 0$  и  $E = 0$ , а между максимальными и минимальными значениями он изменяется по линейному закону.

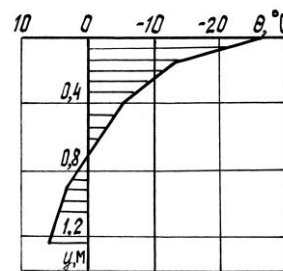


Рис. 4. График изменения температуры по глубине грунтового массива

Вторая особенность расчета такой плиты состоит в том, что модули упругости мерзлого торфа в сжатой и растянутой зонах различны, т. е. торф относится к разномодульным телам.

Для того чтобы при расчете дорожной одежды из мерзлого торфа можно было использовать методы строительной механики, необходимо найти эквивалентный модуль упругости слоя мерзлого торфа.

На рис. 5 приведено условное поперечное сечение дорожной одежды (а), графики модулей упругости (б) и график изменения нормальных напряжений  $\sigma_c$  по толщине (в). Здесь обозначено:  $H$  – толщина дорожной одежды;  $B$  – ее ширина;  $z_1, z_2$  – координаты, определяющие положение нейтральной





Рис. 5. Расчетные схемы: *a* – условное поперечное сечение; *б* – графики модулей упругости; *в* – эпюра нормальных напряжений; 1 – зона сжатия; 2 – зона растяжения; 3 – основание из талого торфа; 0-0 – нейтральная плоскость

плоскости;  $E_{10}$ ,  $E_{20}$  – модули упругости мерзлого торфа на поверхности проезжей части соответственно на сжатие и растяжение.

Рассматривая схему на рис. 5, *б*, нетрудно составить выражения для определения модуля упругости в любом слое дорожной одежды, расположенном на расстоянии  $y$  от нейтральной плоскости:

для участка сжатия

$$E_1 = \frac{E_{10}}{H}(z_2 + y);$$

для участка растяжения

$$E_2 = \frac{E_{20}}{H}(z_2 - y).$$

Напряжения в зонах сжатия и растяжения изменяются по квадратичному закону:

$$\sigma_1 = \frac{E_1}{\rho} y = \frac{E_{10}}{H\rho}(z_2 y + y^2); \quad (1)$$

$$\sigma_2 = \frac{E_2}{\rho} y = \frac{E_{20}}{H\rho}(z_2 y - y^2), \quad (2)$$

где  $\rho$  – радиус кривизны плиты в рассматриваемом поперечном сечении.

Положение нейтральной плоскости, т. е. координату  $z_1$ , находим из условия равенства нулю суммы сжимающих  $F_1$  и растягивающих  $F_2$  сил, действующих в зонах сжатия и растяжения:

$$F_1 = B \int_{z_2}^{z_1} \sigma_1 dy = \frac{BE_{10}}{6H\rho}(3H - z_1)z_1^2;$$

$$F_2 = -B \int_0^{z_2} \sigma_2 dy = -\frac{BE_{20}}{6H\rho}(H - z_1)^3.$$

Используя условие  $F_1 + F_2 = 0$ , получаем выражение

$$E_{10}z_1^2(3H - z_1) - E_{20}(H - z_1)^3 = 0. \quad (3)$$

Вводим безразмерную величину  $\nu = z_1/H$  и приводим уравнение (3) к виду

$$v = \sqrt{\frac{E_{20}(1-v)^3}{E_{10}(3-v)}} \quad (4)$$

Решая уравнение (4) методом итераций, находим значение  $v$ , затем  $z_1$ . Далее с помощью уравнений (1) и (2) можно построить эпюры напряжений для любого поперечного сечения с радиусом кривизны  $\rho$ . Такая эпюра показана на рис.5, в. Они качественно совпадают с эпюрой, приведенной на рис. 1.

Совпадение эпюр напряжений показывает, что схема на рис. 5, а объективна и реально отражает сущность рассматриваемого физического процесса.

Используя схему на рис. 5 и уравнения (1) и (2), можно получить выражения для определения эквивалентного модуля упругости  $E_3$  дорожной одежды из слоя мерзлого торфа

$$E_3 = E_{10}v^3(4-v) + E_{20}(1-v)^4 \quad (5)$$

и уравнения для определения минимальной толщины слоя мерзлого торфа для пропуска по дороге заданной внешней нагрузки от автопоезда:

$$H_{\min} = \left[ \frac{0,075(1-\mu^2)(1-v)^2 E_{20} P_3}{[\sigma_2] B (0,3\alpha C E_3^3)^{0,25}} \right]^{0,8}, \quad (6)$$

где  $H_{\min}$  – минимальная толщина дорожной одежды, см;  
 $\mu$  – коэффициент Пуассона;  
 $E_{20}$  – модуль упругости мерзлого торфа на растяжение, МПа;  
 $P_3$  – максимальная заданная нагрузка от автопоезда, кН;  
 $[\sigma_2]$  – допускаемое напряжение, МПа;  
 $B$  – ширина дороги, см;  
 $\alpha$  – коэффициент поперечного изгиба;  
 $C$  – коэффициент постели, Н/см<sup>3</sup>;  
 $E_3$  – эквивалентный модуль упругости, МПа;  
 0,075; 0,3 – множители, необходимые для выравнивания размерности величин, входящих в уравнение (6).

Система уравнений (4) – (6) дает полное решение задачи по расчету дорожной одежды из мерзлого торфа. Эту систему можно рассматривать как математическую модель для исследования процесса напряженно-деформированного состояния дорожной одежды из мерзлого торфа.

Как и всякая математическая модель, она требует уточнения при сравнении с физической моделью и физическим процессом продольно-поперечного изгиба зимней дорожной одежды на болотах.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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

2. Микеладзе Ш.Е. Некоторые задачи строительной механики. – М.: ОГИЗ, 1948. – 268 с.
3. Морозов В.С. О расчете на прочность оснований зимних автомобильных дорог на болотах // Лесн. журн. – 1990. – № 3. – С. 52–57. – (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Морозов В.С. Об оценке напряженного состояния оснований зимних дорог на болотах // Лесн. журн. – 1990. – №1. – С. 37–43. – (Изв. высш. учеб. заведений).
5. Морозов В.С. Расчет напряженно-деформированного состояния оснований зимних лесовозных автомобильных дорог из мерзлого торфа // Лесосечные, лесоскладские работы и транспорт леса / ЛТА. – Л., 1990. – С. 98–102.
6. Морозов В.С. Расчет толщины зимних лесовозных дорог на болотах // Лесн. журн. – 1991. – № 3. – С. 48–52. – (Изв. высш. учеб. заведений).
7. Морозов В.С. Расчет на прочность оснований зимних дорог на болотах // Лесосечные, лесоскладские работы и транспорт леса / ЛТА. – Л., 1991. – С. 82–88.
8. Морозов В.С. Исследование напряженно-деформированного состояния зимних дорог на болотах // Лесн. журн. – 1991. – № 5. – С. 55–61. – (Изв. высш. учеб. заведений).
9. Морозов В.С. Основные предпосылки расчета толщины многослойного основания из мерзлого торфа // Лесн. журн. – 1999. – № 2–3. – С. 77–82. – (Изв. высш. учеб. заведений).
10. Цытович Н.А. Механика мерзлых грунтов. – М.: Высш. шк., 1973. – 143 с.

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 10.01.2000 г.

*V.S. Morozov*  
**To the Question of Estimating Thickness of Winter  
Forest Roads on Bogs**

The substantiation of the design model and its mathematical model are given for determining thickness of winter forest roads on bogs.

---

УДК 658.581.001.57

### ***В.Н. Шиловский***

Шиловский Вениамин Николаевич родился в 1945 г., окончил в 1970 г. Петрозаводский государственный университет, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии металлов и ремонта ПГУ. Имеет более 140 печатных трудов в области надежности и ремонта лесных машин.



## **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОРГАНИЗАЦИИ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН ПЕРЕДВИЖНЫМИ СРЕДСТВАМИ**

Представлена математическая модель оценки эффективности организации технического обслуживания и ремонта лесозаготовительных машин передвижными мастерскими.

лесозаготовительные машины, обслуживание, математическая модель.

Техническое обслуживание и ремонт лесозаготовительных машин могут быть организованы на стационарных объектах системы технического сервиса и передвижными мобильными мастерскими типа ЛВ-8Б. Выбор стратегии зависит от вида услуг и территориального распределения потребителей. Как стационарные, так и передвижные пункты технического обслуживания организуются заводами-изготовителями машин, представляют собой дилерские пункты или объекты ремонтно-обслуживающей базы лесозаготовительных предприятий.

В качестве математической модели, описывающей поведение системы передвижная мастерская – территориально-распределенный потребитель (мастерский участок, лесопункт, леспромхоз), можно использовать модели системы массового обслуживания, а именно марковского процесса, когда вероятность будущего состояния системы зависит от ее состояния только в настоящий момент времени, но не в прошлом. Система совершает переход из одного состояния в другое, если описывающие ее переменные изменяются от значений, задающих одно состояние, до определяющих другое.

Марковский процесс называется процессом с дискретным состоянием, если переход системы из одного состояния в другое совершается скачком, мгновенно. Такие марковские системы изображаются графом состояния [1].

Рассмотрим функционирование системы передвижная мастерская (ПМ) – территориально-распределительный потребитель (ТРП) в режиме поочередного выполнения передвижными средствами у потребителей одних и тех же видов технических воздействий.

Лесозаготовительные машины в гарантийный период эксплуатации могут средствами лесозаготовительного предприятия доставляться с мастерских участков на объекты ремонтно-обслуживающей базы соответствующих лесопунктов (ЛЗП) и там обслуживаться передвижными средствами завода-изготовителя или по договору с ним средствами дилерского пункта.

Лесозаготовительные машины находятся на одном из  $i$ -х ЛЗП ( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ) на территории одного или нескольких лесозаготовительных предприятий. В дискретные моменты времени  $t_0 < t_1 < t_2 < t_3 < \dots < t_k$  передвижная мастерская шаг за шагом совершает переходы:  $\omega_0 \rightarrow \omega_1 \rightarrow \omega_2 \rightarrow \omega_3 \rightarrow \dots \rightarrow \omega_k$ , где  $\omega_k = \omega(\tau_k)$  – состояние системы через  $k$  шагов ( $k = n + 1$ );  $t_0$  – момент начального состояния системы (начало смены ПМ);  $n + 1$  – число возможных перемещений (состояний) ПМ. Вероятность события, состоящего в том, что ПМ в момент времени  $t$  находится в состоянии  $x_i$ , обозначим как  $P_i(t) = P[x(t) = x_i]$ .

В зависимости от объема технических воздействий в  $i$ -м ЛЗП и удаленности от места дислокации ПМ функционирование передвижного средства обслуживания протекает по следующим вариантам (рис. 1, 2).

Первый вариант предусматривает выполнение объема технических воздействий и всех транспортных перемещений в течение не более одних суток. Этот вариант имеет подварианты по числу ремонтных рабочих на ПМ; в частности, при непрерывной работе в течение более двух смен в группу включается дополнительный слесарь-водитель.

Второй вариант предусматривает вахтовую работу ПМ (рис. 2), когда в течение нескольких дней последовательно обслуживается так называемый куст ЛЗП одного или нескольких предприятий, территориально близких друг к другу.

Согласно графу, представленному на рис. 1, а, после перехода из транспортного состояния в рабочее, ПМ снова возвращается в нерабочее.

Вероятность ( $P_i$ ) того, что время ( $T_2$ ) технического обслуживания лесозаготовительных машин  $i$ -го ЛЗП меньше или равно запланированному времени работы ПМ ( $T_{см} = 8, 16, 24$  ч), имеет вид  $P_i = P(T_2 \leq T_{см})$ .

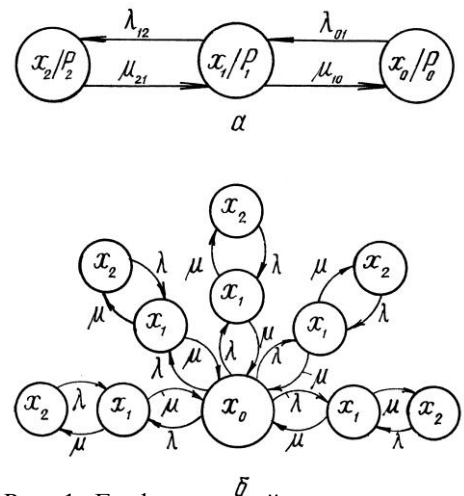


Рис. 1. Граф состояний системы гарантийного одновременного обслуживания ЛМЗ передвижными средствами (с вероятностью перехода системы справа налево): а – при одном заказчике; б – при множестве заказчиков;  $x_0$  – нерабочее состояние;  $x_1$  – транспортное;  $x_2$  – рабочее

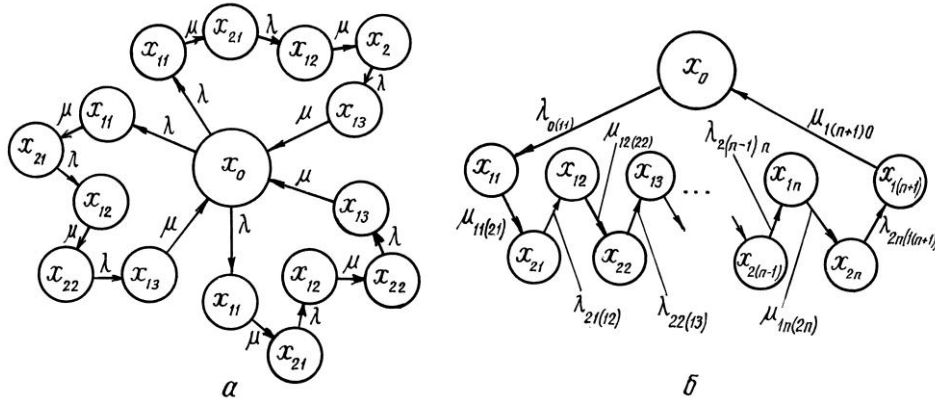


Рис. 2. Граф состояний системы гарантийного последовательного обслуживания потребителей ЛЗМ, территориально распределенных по районам с вероятностью перехода системы справа налево: *a* – обслуживания нескольких районов; *b* – одного района

Вероятность того, что после каждого перехода из рабочего состояния в транспортное ПМ возвращается в рабочее для выполнения следующей заявки, пока, согласно графу на рис. 2, б, ПМ не использует свой вахтовый временный ресурс, равна:

$$P_i = 1 - P_i \left[ \sum_{i=1}^n T_2 > T_{cm} \right]. \tag{1}$$

Функционирование каждой ПМ можно моделировать по следующим вероятностным состояниям:  $x_0$  – нерабочее (пункт дислокации);  $x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{1(n-1)}, x_{1n}, x_{1(n+1)}$  – транспортное (перемещение к ЛЗП под номерами 1, 2, 3,  $n-1, n, n+1$  (в парк; к месту дислокации));  $x_{21}, x_{22}, x_{23}, x_{2(n-1)}, x_{2n}$  – рабочее на ЛЗП под номерами 1, 2, 3,  $n-1, n$ .

Принимаем, что число обращений (заявок) на технические воздействия подчиняется пуассоновскому закону распределения и для варианта состояний системы, изображенных графом на рис. 2, а, составим систему алгебраических уравнений, из которой определим вероятность нахождения ПМ в каждом из приведенных выше состояний.

Итак, согласно мнемоническому правилу «Что втекает, то и вытекает» [1] и графу на рис. 2, б с вероятностью перехода справа налево имеем

$$\begin{aligned}
 & - P_0 \lambda_{0(11)} + P_{1(n+1)} \mu_{1(n+1)0} = 0; \\
 & - P_{11} \mu_{11(21)} + P_0 \lambda_{0(11)} = 0; \\
 & - P_{21} \lambda_{21(12)} + P_{11} \mu_{11(21)} = 0; \\
 & - P_{22} \lambda_{22(13)} + P_{12} \mu_{12(22)} = 0; \\
 & - P_{13} \mu_{13(23)} + P_{22} \lambda_{22(13)} = 0; \\
 & \dots \dots \dots \\
 & - P_{1n} \mu_{1n(2n)} + P_{2(n-1)} \lambda_{2(n-1)n} = 0; \\
 & - P_{2n} \lambda_{2n[1(n+1)]} + P_{1n} \mu_{1n(2n)} = 0; \\
 & - P_{1(n+1)} \mu_{1(n+1)0} + P_{2n} \lambda_{2n[1(n+1)]} = 0,
 \end{aligned} \tag{2}$$

где  $P_i$  – вероятность нахождения ПМ в одном конкретном ( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ) из возможных состояний;

$\lambda_{ij}, \mu_{ij}$  – интенсивность соответственно входа и выхода системы (ПМ) из состояния  $i$  в состояние  $j$ .

Из уравнения (2) определяем вероятность нахождения ПМ в каждом из возможных событий:

$$P_{11} = P_{21} \lambda_{21(12)} / \mu_{11(21)}; P_{12} = P_{21} \lambda_{21(12)} / \mu_{12(22)}; P_{10} = P_{21} \lambda_{21(12)} / \lambda_{0(11)};$$

$$P_{22} = P_{21} \lambda_{21(12)} / \lambda_{22(13)}; \dots; P_{2n} = P_{21} \lambda_{21(12)} / \lambda_{2n[1(n+1)]}; P_{1(n+1)} = P_{21} \lambda_{21(12)} / \mu_{1(n+1)}.$$

Учитывая, что сумма вероятностей всех состояний равна единице [1], т. е.  $\sum_{i=1}^n P_i = 1$ , можно записать выражение вероятности рабочего состояния на первом ЛЗП в следующем виде:

$$P_{21} = 1 - (P_0 + P_{11} + P_{12} + P_{22} + P_{13} + \dots + P_{2n} + P_{1(n+1)}) =$$

$$= \left[ 1 + \lambda_{21(12)} \left( \frac{1}{\lambda_{0(11)} + \mu_{11(21)} + \mu_{12(22)} + \lambda_{22(13)} + \mu_{13(23)} + \lambda_{2n[1(n+1)]} + \mu_{1(n+1)0}} \right) \right]^{-1}. \quad (3)$$

Принимая дорожные условия между ЛЗП идентичными и транспортную скорость ( $V$ ) ПМ постоянной, определяем время ( $t_d$ ) нахождения ПМ в движении. Суммарное время нахождения ПМ в пути  $\left( \sum_{i=1}^{n+1} t_{di} \right)$  равно:

$$\left( \sum_{i=1}^{n+1} t_{di} \right) = \frac{\sum_{i=1}^{n+1} L_i}{V}, \quad (4)$$

где  $L_i$  – расстояние между ЛЗП и местонахождением (местом дислокации) парка ПМ;

$n$  – число ЛЗП;

$n + 1$  – число транспортных состояний с учетом возвращения ПМ к месту дислокации.

Суммарное время работы  $\left( \sum_{i=1}^i t_{pi} \right)$  ПМ (в течение смены, суток, периода вахты) равно:

$$\sum_{i=1}^n t_{pi} = t_{TB} \left( \sum_{j=1}^m TB_1 + \sum_{j=1}^m TB_2 + \dots + m \sum_{j=1}^m TB_{jn} \right) = t_{TB} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m TB_{ji}, \quad (5)$$

где  $t_{pi}$  – время технических воздействий на  $i$ -м ЛЗП;

$t_{TB}$  – нормативное время выполнения  $j$ -го вида технических воздействий ( $TB_j$ ), как обратная величина часовой производительности ПМ;

$m$  – число видов технических воздействий.

Время ( $T_r$ ) нахождения ПМ в пункте дислокации равно:

$$T_r = kT_{cm} + \left( \sum_{i=1}^{n+1} t_{di} + \sum_{i=1}^n t_{pi} \right), \quad (6)$$

где  $T_{cm}$  – продолжительность работы ПМ в течение смены (суток, вахты);

$k$  – доля суммарного времени работы (технических воздействий) и времени в движении (в переездах) от рабочего времени смены (суток, вахты). Она определяется по выражению

$$k = \frac{\sum_{i=1}^{n+1} t_{di} + \sum_{i=1}^n t_{pi}}{T_{cm}} \quad (7)$$

с последующим округлением до ближайшего большего целого числа.

Величина  $k$  определяет форму организации работы ПМ, которая может иметь два варианта:

а) ежедневно после завершения рабочего времени ПМ возвращается в парк или пункт дислокации;

б) ПМ возвращается в пункт дислокации только после выполнения необходимого объема работ.

С учетом выражений (4)–(6) по формуле (3) можно определить вероятность ( $P_{21}$ ) нахождения ПМ в работе на первом ЛЗП:

$$P_{21} = \left[ 1 + \frac{1}{\sum_{j=1}^m TB_{ji}} \left[ \sum_{i=1}^{n+1} \frac{L_i}{V} + \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m TB_{ji}}{\Pi} + \frac{1}{kT_{cm} - \left( \sum_{i=1}^{n+1} t_{di} + \sum_{i=1}^n t_{pi} \right)} \right] \right]^{-1}, \quad (8)$$

где  $\Pi$  – средняя производительность ПМ, ТВ/ч.

Вероятность нахождения ПМ в пути (при переездах), с учетом все тех же формул,

$$P_d = P_{21} \frac{\sum_{i=1}^{n+1} L_i}{t_{TB} \sum_{j=1}^m TB_{ji} V_{cp}}. \quad (9)$$

Вероятность нахождения ПМ в пункте дислокации с учетом (9)

$$P_d = \frac{P_{21}}{\sum_{j=1}^m TB_{ji} kT_{cm} - \left( \sum_{i=1}^{n+1} t_{di} + \sum_{i=1}^n t_{pi} \right)}. \quad (10)$$



Рассмотрим пример моделирования технического обслуживания лесозаготовительных машин, производимого мастерской типа ЛВ-8Б, трех ЛЗП, для которых в данный момент требуется следующий объем технических воздействий: на первом – одно ТО-3 (14 ч), на втором – два (28 ч), на третьем – два (28 ч).

Лесозаготовительные пункты расположены на расстоянии соответственно 40 и 50 км, расстояние от пункта дислокации до первого ЛЗП составляет 25 км, до последнего 35 км. Продолжительность ежедневной работы (смены) ЛВ-8Б равна 16 ч, скорость передвижения – 50 км/ч. ПМ ЛВ-8Б работает в течение 5 дн., исключая ежедневное возвращение в пункт дислокации (вахтовый метод).

По формулам (4)–(6) находим общую продолжительность передвижений ПМ ( $\sum_{i=1}^{n+1} \frac{L_i}{V}$ ), выполнения технических воздействий ( $\sum t_{pi}$ ) и время нахождения в пункте дислокации ( $T_r$ ):

$$\sum_{i=1}^{n+1} \frac{L_i}{V} = \frac{25}{50} + \frac{40}{50} + \frac{50}{50} + \frac{35}{50} = 3 \text{ ч};$$

$$\sum t_{pi} = t_{TB} \sum \sum TB_{ji} = 1(4 + 28 + 28) = 70 \text{ ч};$$

$$T_r = kT_{cm} - \left( \sum_{i=1}^{n+1} t_{di} + \sum_{i=1}^n t_{pi} \right) = 5 \cdot 16 - 73 = 7 \text{ ч}.$$

Вероятности нахождения ПМ в возможных состояниях определяются согласно выражениям (3), (8)–(10):

$$\lambda_{0(1)} = \frac{7}{80} = 0,088; \mu_{11(1)} = \frac{0,5}{80} = 0,006; \lambda_{21(2)} = 0,175; \mu_{12(2)} = 0,01; \lambda_{22(3)} = 0,35; \\ \mu_{13(3)} = 0,008; \lambda_{2n(4+1)} = 0,35; \mu_{1(4+1)} = 0,009.$$

Вероятность нахождения ПМ в рабочем состоянии на первом ЛЗП

$$P_{21} = \left[ 1 + \frac{1}{14} \left( 3 + \frac{70}{1} + \frac{1}{\left( \frac{73}{16} \approx 5 \right) \cdot 16 - 73} \right) \right]^{-1} = 0,163;$$

на других ЛЗП

$$P_{22} = 0,163 \left( \frac{1}{14} / \frac{1}{28} \right) = 0,326; P_{23} = 0,326.$$

Суммарная вероятность нахождения ПМ в рабочем состоянии

$$\sum_{i=1}^n P_{2i} = 0,815.$$

$$P_{11} = 0,061(0,0714/2,00) = 0,0022; P_{12} = 0,061(0,0714/1,25) = 0,0035;$$

$$P_{13} = 0,061(0,0714/1) = 0,0043; P_{1(n+1)} = 0,061(0,0714/1,4286) = 0,0030.$$

Суммарная вероятность нахождения ПМ в движении (транспортном состоянии)  $\sum_{i=1}^{n+1} P_{1i} = 0,013$ . Суммарная вероятность нахождения ПМ в рабочем, транспортном состоянии, а также в пункте дислокации равна:

$$\sum_{i=1}^n P_{2i} + \sum_{i=1}^{n+1} P_{1i} + P_d = 0,950.$$

Коэффициент использования машин ПМ ( $K_M$ ):

$$K_M = \frac{\sum_{i=1}^n P_{2i}}{\sum_{i=1}^n P_{2i} + \sum_{i=1}^{n+1} P_{1i} + P_d} = 0,86.$$

Подбирая маршруты, соответствующие заявкам на выполнение технических воздействий, можно добиться увеличения коэффициента использования, величина которого может быть близка к единице.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Питухин А.В., Шиловский В.Н., Серебрянский Н.И. Применение вероятностно-статистических методов для решения задач по надежности и ремонту машины и оборудования: Учеб. пособие. – Петрозаводск: Изд-во ПГУ, 1999. – 148 с.

Петрозаводский государственный университет

Поступила 04.05.2000 г.

*V.N. Shilovsky*

#### **Mathematical Model of Logging Machines Maintenance by Mobile Units**

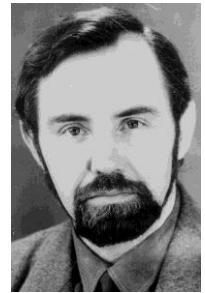
The mathematical model is provided for the efficiency estimate of logging machines maintenance by mobile shops.

## МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 674:519.85

***Ю.В. Бугаев***

Бугаев Юрий Владимирович родился в 1952 г., окончил в 1975 г. Воронежский государственный университет, кандидат технических наук, доцент кафедры математического моделирования технологических систем Воронежской государственной технологической академии. Имеет более 30 научных работ, посвященных математическому моделированию технологических процессов глубокой переработки древесины, а также фундаментальным исследованиям в области векторной оптимизации и принятия решения.



### **ПРИМЕНЕНИЕ ВЕКТОРНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ НА ГРАФАХ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСКРОЯ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ**

Предложен эффективный алгоритм, позволяющий рассчитать оптимальные варианты раскроя лесоматериалов заданного типоразмера.

пиловочное сырье, раскрой, оптимизация, моделирование.

Оптимизация раскроя лесоматериалов в традиционной постановке предполагает применение аппарата линейного программирования (ЛП). Исходными данными для составления модели являются оценки объемно-качественного выхода продукции при различных вариантах раскроя. Параллельно с этим возникает задача определения оптимальных схем раскроя для заданного типоразмера. Эта задача появляется, например, в случае, когда номенклатура выпускаемой продукции задается не жестко и главное значение имеет оптимальное использование сырья. Также возможен вариант, когда предприятие заказывает сырье определенных типоразмеров и необходимо знать способы его наилучшего получения.

Подобная ситуация может возникнуть на предприятии, где не проводится сортировка с требуемой дробностью и количество сырья каждого типоразмера известно лишь приблизительно. В этом случае применение ЛП невозможно и остается использовать стратегию подбора оптимальной схемы для каждого типоразмера.

При большом ассортименте выпускаемой продукции выбор оптимальной схемы превращается в сложную комбинаторную задачу, и необходимы методы, не использующие стратегию полного перебора.

Следует отметить, что задача оптимизации раскроя имеет несколько критериев эффективности [7]. Следовательно, данную проблему следует трактовать как некоторую задачу дискретной оптимизации с векторным критерием качества. Для построения соответствующей формализованной модели воспользуемся аппаратом теории графов.

Представим совокупность возможных резов на объекте раскроя как множество  $V$  вершин некоторого графа. Пусть  $u, v \in V$ . Тогда дуга  $e = (u, v)$  соответствует выкраиванию сортамента, торцы которого ограничены резами  $u$  и  $v$ . Схема раскроя есть не что иное, как последовательность дуг  $(v_{i_0}, v_{i_1}), (v_{i_1}, v_{i_2}), \dots, v_{i_k} \in V$ , т.е. некоторый путь в графе  $G = (V, E)$ , где  $E$  – множество дуг графа. Каждой дуге  $e = (v_i, v_j)$  соответствует определенное значение вектора эффективности  $\vec{q}(e) = \vec{q}(v_i, v_j)$ . Тогда общая эффективность схемы

$$\vec{q}(v_0, v_1, \dots, v_n) = \sum_{i=0}^{n-1} \vec{q}(v_i, v_{i+1}).$$

При этом задача оптимизации раскроя сводится к поиску выбора эффективных путей в ориентированном графе  $G$ .

Соответствующий алгоритм разработан и теоретически обоснован автором [1], а также апробирован на многих тестовых и производственных задачах. Его основное преимущество по сравнению с известными методами, например алгоритмом линейной свертки критериев (АЛСК [6]), прежде всего заключается в том, что он гарантирует нахождение всего множества эффективных, в частности, Парето-оптимальных решений.

Для иллюстрации рассмотрим следующий пример. Сосновые хлысты со средним диаметром  $D_{0,5} = 22$  см и длиной  $H = 28$  м необходимо раскроить на пиловочные бревна длиной 4,0; 4,5; 5,0; 5,5 и 6,0 м, а также на балансы длиной 2,0 и 4,0 м. Примем: протяженность зоны балансов – 5 ... 28 м, пиловочника – 0 ... 17 м. Для определения набора Парето-оптимальных схем раскроя в качестве частных критериев будем использовать:  $q_{\Pi}$  – цилиндрический объем пиловочных бревен,  $q_{\text{Б}}$  – объемный выход балансов по ГОСТ 270844.

Для расчета значений векторных весов  $\vec{q}(e)$  дуг графа  $G$  воспользуемся математической моделью хлыста [2, 7]. Согласно [2], имеем следующее выражение для диаметра хлыста в сечении, отстоящем от комля на расстоянии  $L$ :

$$D(L) = D_{0,5} \left[ 0,009 \left( \frac{L}{H} \right)^4 - 1,917 \left( \frac{L}{H} \right)^3 + 3,091 \left( \frac{L}{H} \right)^2 - 2,068 \left( \frac{L}{H} \right) + 1,481 \right].$$

Обозначим  $v(L)$  – вершина графа, соответствующая резу в сечении  $L$ . Тогда получим следующие формулы для расчета критериев:

$$q_{\text{П}} [v(L), v(L-a)] = \begin{cases} \frac{\pi}{4} aD^2(L), & \text{если } L \in S_{\text{П}}; \\ 0, & \text{если } L \notin S_{\text{П}}; \end{cases}$$

$$q_{\text{Б}} [v(L), v(L-b)] = \begin{cases} V_{\text{ГОСТ}} [b, D(L)], & \text{если } L \in S_{\text{Б}}; \\ 0, & \text{если } L \notin S_{\text{Б}}, \end{cases}$$

где  $a$  и  $b$  – длина пиловочного и балансового бревна, соответственно  $a = 4,0, \dots, 6,0; b = 2,0; 4,0;$

$V_{\text{ГОСТ}}(b, D)$  – объем бревна длиной  $b$  и диаметром  $D$  по ГОСТ 270844 (для его вычисления можно воспользоваться формулой из [4]);

$S_{\text{П}}$  и  $S_{\text{Б}}$  – множества координат резов, соответственно принадлежащих пиловочной и балансовой зонам.

В результате получен граф, содержащий 106 вершин и 433 дуги. В табл. 1 приведены фрагменты таблицы ребер этого графа. Нулевые значения критериев соответствуют либо фиктивным ребрам, либо координатам резов, попавших в запрещенные зоны.

Применение алгоритма [1] позволило найти 48 Парето-оптимальных вариантов раскроя при их общем числе для данного примера около 395 тыс. Некоторые из эффективных схем приведены в табл. 2.

Схемы 1 и 2 позволяют получить максимально возможный выход пиловочника и баланса, однако при этом выход деловой древесины низок из-за наличия отходов. Схемы 3 и 4 дают максимум выхода пиловочника и

Таблица 1

Номер ребра	Начальная вершина	Координата реза	Конечная вершина	Координата реза	Сортимент	$q_{\text{Б}}$	$q_{\text{П}}$
1	1	0,0	5	2,0	2,0 Б	0	0
2	1	0,0	9	4,0	4,0 Б	0	0
3	1	0,0	58	*	4,0 П	0	235
4	58	*	9	4,0		0	0
5	1	0,0	10	4,5	4,5 П	0	254
6	1	0,0	11	5,0	5,0 П	0	273
...	...	...	....	...		...	...
10	2	0,5	6	2,5	2,0 Б	0	0
11	2	0,5	10	4,5	4,0 Б	0	0
12	2	0,5	59	*	4,0 П	0	226
13	59	*	10	4,5		0	0
14	2	0,5	11	5,0	5,0 П	0	246
...	...	....	...	...		...	...
19	3	1,0	7	3,0	2,0 Б	0	0
20	3	1,0	11	5,0	4,0 Б	257	0
21	3	1,0	60	*	4,0 П	0	218
22	60	*	11	5,0	–	0	0
...	...	...	...	...	...	...	...

Примечание. 1. Звездочкой отмечены фиктивные координаты резов, введенные из-за совпадения длины 4-метровых баланса и пиловочника. 2. Здесь и далее, в табл. 2, обозначено: П – пиловочные бревна, Б – балансы.

Таблица 2

Номер схемы	Схема	$q_{\text{П}}$	$q_{\text{Б}}$
		м <sup>3</sup>	
1	4,0 П – 4,0 П – 4,5 П – 4,5 П – 6 (2,0 Б) – 1,0 Отх	0,880	0,277
2	2,0 Отх – 2,0 Б – 2,0 Б – 4,0 Б – 4,0 Б – 5 (2,0Б)	0,000	1,022
3	4 (4,0 П) – 4,0 Б – 4 (2,0 Б)	0,841	0,328
4	4,0 П – 2,0 Б – 2,0 Б – 2,0 Б – 4,0 Б – 4,0 Б – 5 (2,0 Б)	0,275	0,895
5	4,0 П – 4,0 П – 4,0 П – 4,0 Б – 4,0 Б – 4 (2,0 Б)	0,678	0,491
6	4,0 П – 2,0 П – 2,0 Б – 4,0 П – 4,0 П – 4,0 Б – 4 (2,0 Б)	0,623	0,548

Примечание. 1. «Отх» – отход. 2. Цифры в схеме перед П и Б – длина выкраиваемого сортимента, коэффициент перед скобкой – число повторений.

балансов при условии полного использования длины хлыста, схемы 5 и 6 – примерно равный выход пиловочника и балансов.

Для сравнения эта же задача была решена с помощью АЛСК. Было сгенерировано 1000 наборов весовых коэффициентов для двух критериев. С помощью каждого набора образована линейная свертка частных критериев и для полученных сверток методом поиска кратчайшего пути в ациклическом графе [5] найдены оптимальные схемы раскроя. Всего было получено 13 различных Парето-оптимальных вариантов раскроя, т. е. значительно меньше, чем с помощью алгоритма [1].

Описанный алгоритм может быть без изменений применен также для оптимального раскроя каждого конкретного хлыста. Для этого необходима соответствующая модель, позволяющая определить величину  $D(L)$  – диаметр данного хлыста в сечении  $L$ . Это может быть, например, кусочно-линейная модель [3].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бугаев Ю.В., Сысоев В.В. Векторный вариант алгоритма Фрода-Беллмана // Искусств. интеллект: Сб. науч. тр. – М.: ИФТП, 1998. – С. 33–41.
2. Васильев В.Н. Исследование и разработка средств автоматического учета хлыстов и бревен для АСУТП первичной обработки древесины в поперечных потоках: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Красноярск, 1979. – 21 с.
3. Воевода Д.Н., Китайник Л.М., Перельмутер Ю.Н. Об оптимальных кусочно-линейных моделях профиля хлыстов // Лесн. пром-сть. – 1977. – № 3. – С. 8–11.
4. Зильберман М.М., Попов М.А. Интерпретация таблиц объемов круглых лесоматериалов ГОСТ 270844 функцией двух переменных // Автоматизация и механизация деревообрабатывающих пр-в: Сб. науч. тр. – Л.: ЛТА, 1968. – С. 84–88.
5. Литский В. Комбинаторика для программистов / Пер. с польск. – М.: Мир, 1988. – 213 с.
6. Меламед И.И., Сигал И.Х. Исследование линейной свертки критериев в многокритериальном дискретном программировании // Журн. вычисл. математики и мат. физики – 1995. – 35, № 8. – С. 1260–1270.
7. Петровский В.С. Оптимальная раскряжевка лесоматериалов. – М.: Лесн. пром-сть, 1998. – 288 с.

Воронежская государственная технологическая академия

Поступила 25.01.01

*Yu. V. Bugaev*

**Use of Vector Optimization on the Graphs for Wood  
Cutting Modelling**

The efficient algorithm is offered allowing to estimate the optimal variants of wood cutting of the given type and size.

---

УДК 621.935

**Г.Ф. Прокофьев, И.И. Иванкин, Н.И. Дундин**

Прокофьев Геннадий Федорович родился в 1940 г., окончил в 1964 г. Архангельский лесотехнический институт, профессор, доктор технических наук, профессор кафедры прикладной механики Архангельского государственного технического университета, действительный член РАЕН. Имеет более 200 печатных работ в области прикладной механики и интенсификации переработки древесины путем совершенствования лесопильного оборудования и дереворежущего инструмента.



Иванкин Илья Игоревич родился в 1971 г., окончил в 1994 г. Архангельский лесотехнический институт, старший преподаватель кафедры машин и оборудования лесного комплекса Архангельского государственного технического университета. Имеет около 20 печатных работ в области лесопильного оборудования и инструмента.



Дундин Николай Иванович родился в 1955 г., окончил в 1981 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, заведующий кафедрой прикладной механики Архангельского государственного технического университета. Имеет более 50 печатных работ в области прикладной механики и лесопильного оборудования.

**ИССЛЕДОВАНИЕ НАЧАЛЬНОЙ ЖЕСТКОСТИ ПОЛОСОВЫХ ПИЛ**

Приведены результаты теоретических исследований начальной жесткости полосовых пил. При выводе формул для расчета начальной жесткости энергетическим методом рассмотрены случаи установки пил в направляющих без зазора и с зазором; предложено их использовать для определения путей совершенствования ленточнопильных станков.

жесткость пил, боковые силы, энергия деформации, изгиб, кручение.

В лесопилении широко применяют лесопильные рамы и ленточнопильные станки, в качестве режущего инструмента используют пилы, представляющие собой в зоне резания стальные полосы, на одной из кромок которых насечены зубья.

Производительность оборудования и качество пиления в значительной степени зависят от точности получаемых пиломатериалов. Последняя определяется точностью настройки станка на заданные толщины выпи-



ваемых пиломатериалов (позиционирование пил) и точностью пиления. Вопросы повышения точности настройки лесопильных рам и ленточнопильных станков рассмотрены в работе [1], аналитический метод оценки точности пиления древесины приведен в работе [3].

Для повышения точности пиления необходимо уменьшать силы, действующие на пилу в процессе пиления, и повышать способность пил противодействовать этим силам.

Способность пил противодействовать боковым силам характеризуется их жесткостью. Различают три вида жесткости [2]: собственную жесткость  $j_c$  ненатянутой пилы; начальную жесткость  $j_n$  натянутой пилы при отсутствии действия на нее сил сопротивления резанию; рабочую жесткость  $j_p$  пилы с учетом действующих на нее сил сопротивления резанию.

Для определения рабочей жесткости пилы, по которой оценивается точность пиления [1], необходимо знать ее начальную жесткость:

$$j_n = \frac{Q}{w}, \quad (1)$$

где  $Q$  – боковая сила, приложенная к режущей кромке пилы на середине ее свободной длины  $l$ ;

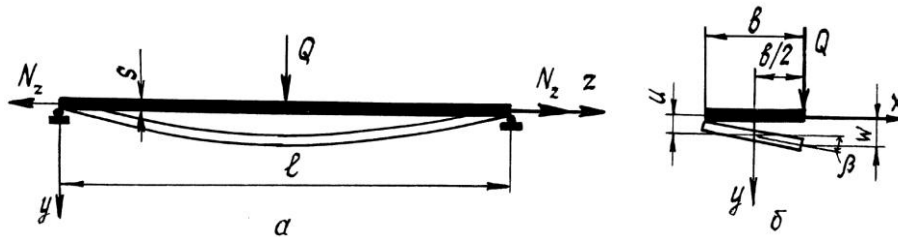
$w$  – отклонение (прогиб) пилы.

Из уравнения (1) следует, что для определения начальной жесткости необходимо знать величину прогиба растянутой пилы под действием боковой силы. Для определения прогибов пилы, предложена расчетная схема, представленная на рис. 1.

Пила толщиной  $S$  и шириной  $b$  натянута равномерно распределенной силой  $N_z = N / b$ . Для определения прогибов пилы воспользуемся энергетическим методом.

Рис. 1. Расчетная схема для определения прогибов пилы:  $a$  – вид сбоку;  $b$  – вид с торца

Потенциальная энергия деформации пилы  $U$  складывается из потенциальных энергий растяжения  $U_p$ , изгиба  $U_{из}$  и кручения  $U_{кр}$ . Уравнения для расчета приведено в [4]:



$$U = U_p + U_{из} + U_{кр} = \frac{1}{2} \int_0^{l+b/2} \int_{-b/2}^{b/2} N_z \left( \frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 dx dz + \frac{B}{2} \int_0^l \left( \frac{d^2 u}{dz^2} \right)^2 dz + \frac{C}{2} \int_0^l \left( \frac{d\beta}{dz} \right)^2 dz, \quad (2)$$

где  $B = EJ$  – жесткость пилы при изгибе, Н·мм<sup>2</sup>;

- $E$  – модуль упругости материала пилы, МПа;  
 $J = bs^3/12$  – момент инерции сечения пилы при изгибе, мм<sup>4</sup>;  
 $u$  – прогиб пилы при изгибе, мм;  
 $C = GJ_\rho$  – жесткость пилы при кручении, Н·мм<sup>2</sup>;  
 $G$  – модуль сдвига материала пилы, МПа;  
 $J_\rho \approx bs^3/3$  – момент инерции сечения пилы при кручении, мм<sup>4</sup>;  
 $\beta$  – угол поворота сечения пилы при кручении, рад.

Деформация полотна пилы складывается из прогиба продольной оси пилы и поворота сечения пилы вокруг нее (рис. 1).

Прогиб оси пилы на расстоянии  $z$  от одного из концов, принятого за начало координат, можно выразить как

$$u = \sum_{n=1}^{n=\infty} \bar{u}_n \sin \frac{n\pi z}{l}; \quad (3)$$

угол поворота сечения пилы, расположенного на расстоянии  $z$  от одного из концов,

$$\beta = \sum_{n=1}^{n=\infty} \bar{\beta}_n \sin \frac{n\pi z}{l}. \quad (4)$$

Тогда прогиб любой точки пилы под действием боковой силы  $Q$ , приложенной к кромке пилы на середине ее свободной длины, найдем по формуле

$$w = u + \beta x = \sum_{n=1}^{n=\infty} \left( \bar{u}_n \sin \frac{n\pi z}{l} + \bar{\beta}_n x \sin \frac{n\pi z}{l} \right). \quad (5)$$

Подставив выражения (3)–(5) в (2) и выполнив соответствующие преобразования, получим уравнение для определения потенциальной энергии деформации пилы:

$$U = N \frac{\pi^2}{4l} \sum_{n=1,3,5,\dots}^{n=\infty} n^2 \left( \bar{u}_n^2 + \bar{\beta}_n^2 \frac{b^2}{12} \right) + \frac{\pi^4}{4l^3} B \sum_{n=1,3,5,\dots}^{n=\infty} n^4 \bar{u}_n^2 + \frac{\pi^2}{4l} C \sum_{n=1,3,5,\dots}^{n=\infty} n^2 \bar{\beta}_n^2. \quad (6)$$

Если коэффициентам  $\bar{u}_n$  или  $\bar{\beta}_n$  дать приращение  $d\bar{u}_n$  или  $d\bar{\beta}_n$ , то это будет соответствовать дополнительному бесконечно малому прогибу  $d\bar{u}_n$  или  $(b/2) d\bar{\beta}_n$ . При этом сила  $Q$  совершит работу  $dW = Q d\bar{u}_n$  или  $dW = Q(b/2) d\bar{\beta}_n$ .

При дополнительном бесконечно малом прогибе  $d\bar{u}_n$  потенциальная энергия деформации выражается уравнением

$$dU = \frac{\partial U}{\partial \bar{u}_n} d\bar{u}_n = \frac{\pi^2 n^2}{2l} N \bar{u}_n d\bar{u}_n + \frac{\pi^4 n^4}{2l^3} B \bar{u}_n d\bar{u}_n.$$

Так как  $dW = dU$ , то

$$\left( \frac{\pi^2 n^2}{2l} N + \frac{\pi^4 n^4}{2l^3} B \right) \bar{u}_n d\bar{u}_n = Q d\bar{u}_n.$$

Отсюда

$$\bar{u}_n = \frac{Q}{\frac{\pi^2 n^2}{2l} N + \frac{\pi^4 n^4}{2l^3} B}. \quad (7)$$

Аналогично при дополнительном бесконечно малом прогибе  $d\bar{\beta}_n$

$$\begin{aligned} dU &= \frac{\partial U}{\partial \bar{\beta}_n} d\bar{\beta}_n = \frac{\pi^2 n^2 b^2}{24l} N \bar{\beta}_n d\bar{\beta}_n + \frac{\pi^2 n^2}{2l} C \bar{\beta}_n d\bar{\beta}_n; \\ \left( \frac{\pi^2 n^2 b^2}{24l} N + \frac{\pi^2 n^2}{2l} C \right) \bar{\beta}_n d\bar{\beta}_n &= Q (b/2) d\bar{\beta}_n; \\ \bar{\beta}_n &= \frac{Q}{\frac{\pi^2 n^2 b}{12l} N + \frac{\pi^2 n^2}{l b} C}. \end{aligned} \quad (8)$$

Подставив выражения (7), (8) в (5), для  $x = b/2$  и  $z = l/2$  получим

$$w = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{n=\infty} \left( \frac{Q}{\frac{\pi^2 n^2}{2l} N + \frac{\pi^4 n^4}{2l^3} B} + \frac{Q}{\frac{\pi^2 n^2}{6l} N + \frac{2\pi^2 n^2}{l b^2} C} \right). \quad (9)$$

Отсюда жесткость пилы

$$j_n = 1 / \sum_{n=1,3,5,\dots}^{n=\infty} \left( \frac{1}{\frac{\pi^2 n^2}{2l} N + \frac{\pi^4 n^4}{2l^3} B} + \frac{1}{\frac{\pi^2 n^2}{6l} N + \frac{2\pi^2 n^2}{l b^2} C} \right). \quad (10)$$

Формула (9) получена для случаев, когда отсутствуют направляющие пилы или зазор между пилой и направляющими (на практике часто устанавливают ленточные пилы в направляющие с зазором).

Рассмотрим расчетную схему (рис. 2) для определения жесткости полосовых пил с учетом зазора  $\delta$  между пилой и направляющими. Под действием боковой силы  $Q$ , приложенной к режущей кромке на середине свободной длины  $l$ , кромка пилы получает прогиб  $w$ , который складывается

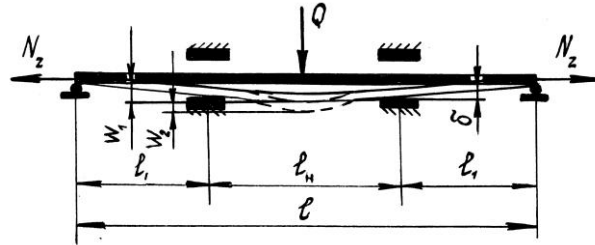


Рис. 2. Расчетная схема для определения прогибов пилы

из прогибов  $w_1$  (получаемого при касании направляющих) и  $w_2$  (получаемого после касания направляющих).

Направляющие от левой опоры находятся на расстоянии  $l_1$ . Прогиб пилы  $w_1$  на этом расстоянии при касании пилой направляющих

$$w_1 = \delta = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{n=\infty} \left( \frac{Q_1}{\frac{\pi^2 n^2}{2l} N + \frac{\pi^4 n^4}{2l^3} B} + \frac{Q_1}{\frac{\pi^2 n^2}{6l} N + \frac{2\pi^2 n^2}{l b^2} C} \right) \sin \frac{n\pi l_1}{l}, \quad (11)$$

где  $Q_1$  – часть боковой силы  $Q$ , необходимая для достижения такого прогиба кромки пилы, при котором она касается направляющих.

Отсюда

$$Q_1 = \delta / \left( \sum_{n=1,3,5,\dots}^{n=\infty} \left( \frac{1}{\frac{\pi^2 n^2}{2l} N + \frac{\pi^4 n^4}{2l^3} B} + \frac{1}{\frac{\pi^2 n^2}{6l} N + \frac{2\pi^2 n^2}{l b^2} C} \right) \sin \frac{n\pi l_1}{l} \right). \quad (12)$$

Часть боковой силы, которая изгибает пилу после касания ею направляющих,  $Q_2 = Q - Q_1$ . Прогиб пилы при свободной длине  $l_n$  (расстояние между направляющими) под действием силы  $Q_2$  на середине длины  $l_n$

$$\begin{aligned}
 w_2 &= \sum_{n=1,3,5,\dots}^{n=\infty} \left( \frac{1}{\frac{\pi^2 n^2}{2l_n} N + \frac{\pi^4 n^4}{2l_n^3} B} + \frac{1}{\frac{\pi^2 n^2}{6l_n} N + \frac{2\pi^2 n^2}{l_n b^2} C} \right) Q_2 = \\
 &= \sum_{n=1,3,5,\dots}^{n=\infty} \left( \frac{1}{\frac{\pi^2 n^2}{2l_n} N + \frac{\pi^4 n^4}{2l_n^3} B} + \frac{1}{\frac{\pi^2 n^2}{6l_n} N + \frac{2\pi^2 n^2}{l_n b^2} C} \right) \times \\
 &\times \left\{ Q - \delta / \left[ \sum_{n=1,3,5,\dots}^{n=\infty} \left( \frac{1}{\frac{\pi^2 n^2}{2l} N + \frac{\pi^4 n^4}{2l^3} B} + \frac{1}{\frac{\pi^2 n^2}{6l} N + \frac{2\pi^2 n^2}{l b^2} C} \right) \sin \frac{n\pi l_1}{l} \right] \right\}. \quad (13)
 \end{aligned}$$

Прогиб пилы на середине свободной длины  $l$  при действии боковой силы  $Q_1$

$$w_1 = \frac{\delta}{\sin \frac{\pi l_1}{l}}. \quad (14)$$

Суммарный прогиб пилы в месте действия боковой силы

$$w = w_1 + w_2. \quad (15)$$

Подставив в уравнение (15) выражения (13) и (14), получим

$$\begin{aligned}
 w &= \frac{\delta}{\sin \frac{\pi l_1}{l}} + \sum_{n=1,3,5,\dots}^{n=\infty} \left( \frac{1}{\frac{\pi^2 n^2}{2l_n} N + \frac{\pi^4 n^4}{2l_n^3} B} + \frac{1}{\frac{\pi^2 n^2}{6l_n} N + \frac{2\pi^2 n^2}{l_n b^2} C} \right) \times \\
 &\times \left\{ Q - \delta / \left[ \sum_{n=1,3,5,\dots}^{n=\infty} \left( \frac{1}{\frac{\pi^2 n^2}{2l} N + \frac{\pi^4 n^4}{2l^3} B} + \frac{1}{\frac{\pi^2 n^2}{6l} N + \frac{2\pi^2 n^2}{l b^2} C} \right) \sin \frac{n\pi l_1}{l} \right] \right\}. \quad (16)
 \end{aligned}$$

Жесткость пилы

$$j_n = Q \left\{ \frac{\delta}{\sin \frac{\pi l_1}{l}} + \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \left( \frac{1}{\frac{\pi^2 n^2}{2l_n} N + \frac{\pi^4 n^4}{2l_n^3} B} + \frac{1}{\frac{\pi^2 n^2}{6l_n} N + \frac{2\pi^2 n^2}{l_n b^2} C} \right) \times \right. \\ \left. \times \left[ Q - \delta \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \left( \frac{1}{\frac{\pi^2 n^2}{2l} N + \frac{\pi^4 n^4}{2l^3} B} + \frac{1}{\frac{\pi^2 n^2}{6l} N + \frac{2\pi^2 n^2}{lb^2} C} \right) \sin \frac{n\pi l_1}{l} \right] \right\}. \quad (17)$$

Пусть имеем следующие расчетные параметры:  $l = 1800$  мм;  $l_1 = 700$  мм;  $l_n = 400$  мм;  $b = 110$  мм;  $s = 1,2$  мм;  $N = 8$  кН;  $Q = 10$  Н;  $E = 2,15 \cdot 10^5$  МПа;  $G = 8,1 \cdot 10^4$  МПа;  $\delta = 0,15$  мм.

Расчеты произведены на компьютере с помощью математического пакета Mathcad 8.0 фирмы MathSoft, Inc. После подстановки в формулу (17) с учетом только первых двух членов ряда ( $n = 1, 3$ ) имеем  $j_n = 23,1$  Н/мм, а при  $n = 1, 3, 5, \dots, 100001 - j_n = 21,9$  Н/мм. Таким образом, погрешность составляет 5,2 %, что приемлемо для практических целей.

Зазор, мм	Начальная жесткость ленточной пилы, Н/мм, при силе натяжения, кН		
	6	7	8
0,00	24,0	26,7	29,3
0,05	21,9	24,2	26,3
0,10	20,3	22,1	23,9
0,15	18,8	20,4	21,9
0,20	17,5	18,9	20,2
0,25	16,4	17,6	18,8

В таблице приведены результаты расчетов начальной жесткости ленточной пилы  $j_n$  в зависимости от зазора между пилой и направляющими  $\delta$  и силы натяжения  $N$  при перечисленных выше параметрах.

На рис. 3 по данным таблицы построены графики, отражающие связь между начальной жесткостью ленточной пилы  $j_n$ , зазором  $\delta$  между пилой и направляющими и силой натяжения  $N$ .

Полученные нами результаты показывают, что при увеличении зазора между пилой и направляющими на 0,05 мм следует увеличить силу натяжения пилы приблизительно на 1 кН для достижения аналогичной жесткости.

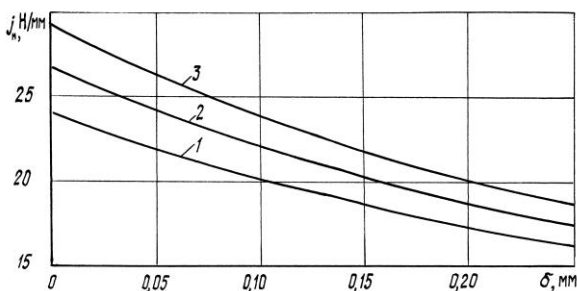


Рис. 3. Зависимости начальной жесткости ленточной пилы  $j_n$  от зазора  $\delta$  между пилой и направляющими  $\delta$  ( $l = 1800$  мм;  $l_1 = 700$  мм;  $l_n = 400$  мм;  $b = 110$  мм;  $s = 1,2$  мм;  $Q = 10$  Н) и при следующих значениях силы натяжения  $N$ : 1 – 6 кН; 2 – 7; 3 – 8 кН

Приведенные в статье формулы могут быть использованы для определения начальной жесткости пил при выборе оптимальных параметров и дальнейшем совершенствовании ленточнопильных станков.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прокофьев Г.Ф. Интенсификация пиления древесины рамными и ленточными пилами. – М.: Лесн. пром-сть, 1990. – 240 с.
2. Прокофьев Г.Ф. Некоторые вопросы точности рамного пиления // Совершенствование технологии и оборудования лесопильного производства. – Архангельск, 1981. – С. 69–75.
3. Прокофьев Г.Ф. Точность пиления древесины рамными и ленточными пилами / Лесн. журн. – 1996. – № 6. – С. 74–80. – (Изв. высш. учеб. заведений)
4. Тимошенко С.П. Устойчивость упругих систем. – 2-е изд. – М.: Гостехиздат, 1955. – 576 с.

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 05.03.01

*G.F. Prokofjev, I.I. Ivankin, N.I. Dundin*  
**Investigation of Initial Hardness of Strip Saws**

The results of theoretical investigations of the initial hardness for strip saws are given. When developing formulas for calculating the initial hardness by the energy method the cases are viewed for saws installment in the guides with clearance and without it. The formulas obtained may be used for determining the ways of updating band saw machines.

---

УДК 647.817-14

***В.В. Тулейко, В.Б. Снопков***

Тулейко Валерий Валентинович родился в 1975 г., окончил в 1997 г. Белорусский государственный технологический университет, младший научный сотрудник лаборатории огнезащиты строительных конструкций и материалов при кафедре технологии клееных материалов и плит БГТУ. Имеет 14 печатных работ в области исследования процессов тепломассопереноса при пьезотермическом воздействии на древесно-клеевые композиции и древесные слоистые материалы, а также разработки режимов их изготовления.



Снопков Василий Борисович родился в 1952 г., окончил в 1974 г. Белорусский технологический институт, кандидат технических наук, заведующий кафедрой технологии клееных материалов и плит Белорусского государственного технологического университета. Имеет 125 печатных работ в области технологии древесных плит и пластиков, гидротермической обработки и защиты древесины.

**ПРЕССОВАНИЕ ДРЕВЕСНОСТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ  
УВЕЛИЧЕННОЙ ТОЛЩИНЫ****1. ЯВЛЕНИЯ ТЕПЛО- И МАССОПЕРЕНОСА  
В ДРЕВЕСНОСТРУЖЕЧНОМ БРИКЕТЕ**

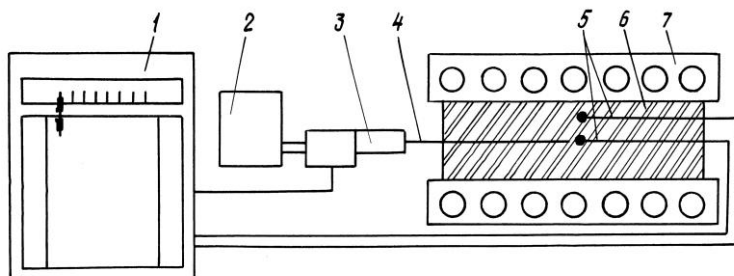
Предложен механизм прогрева и перемещения влаги в древесностружечном брикете увеличенной толщины при горячем прессовании.

плиты, прессование, древесностружечный брикет, тепло- и массоперенос.

Древесностружечные плиты (ДСтП) увеличенной толщины (25 мм и более) – ценный конструкционный материал, успешно применяемый в производстве мебели и строительстве. В последнее время в Республике Беларусь спрос на такие плиты значительно возрастает и удовлетворяется главным образом за счет импорта. Все большую актуальность приобретает необходимость организации собственного производства на базе существующих линий по изготовлению ДСтП. Главным препятствием при этом является отсутствие отработанных режимов горячего прессования, позволяющих получать качественную продукцию с минимальными затратами сырья и энергии.

Горячее прессование должно обеспечивать решение следующих задач: сближение древесных частиц и обеспечение их контакта на время, не-





обходимое для образования клеевых соединений; создание условий для быстрого и полного отверждения связующего [1–3]. Первая из указанных задач решается при использовании такого удельного давления прессования, которое обеспечивало быстрое смыкание нагревательных плит до толщины дистанционных планок и удерживало их в этом положении на протяжении всего цикла прессования. Для успешного решения второй задачи необходимо обеспечить прогрев всего объема стружечного брикета до температуры, достаточной для протекания реакции отверждения связующего, испарения избыточной влаги и удаления парогазовой смеси через торцы и пласти брикета. Учитывая, что объектом исследований является стружечный брикет увеличенной толщины, обеспечить его эффективный прогрев достаточно сложно.

Для получения достоверных данных необходимо изучить явления тепло- и массопереноса, происходящие в древесностружечном брикете во время прессования, и использовать это при разработке технологического режима. Именно такая цель и была поставлена в данной работе.

Для изготовления ДСтП в лабораторных условиях применяли стружку, полученную на стружечных станках ДС-7 в промышленных условиях цеха ДСтП АО «Мостовдрев». Наружные слои древесностружечных брикетов формировали из стружки средней толщины ( $\approx 0,1$  мм), внутренний – из стружки толщиной до 0,8 мм. В качестве связующего применяли карбамидоформальдегидную смолу марки КФ-НП (ТУ РБ 00276267-390-94). В качестве отвердителя использовали водный раствор хлористого

Рис. 1. Схема экспериментальной установки для определения температуры и избыточного давления парогазовой смеси:  
1 – потенциометр, 2 – источник напряжения постоянного тока,  
3 – датчик давления, 4 – капилляр, 5 – термопара, 6 – стружечный брикет, 7 – нагревательные плиты пресса

аммония (ГОСТ 2210–73) концентрацией 20 %. Толщина готовых плит составляла 28 мм.

Для измерения температуры внутри брикета использовали хромель-копелевые термоэлектрические преобразователи (термопары) типа ТХК. Измерение давления парогазовой смеси осуществляли посредством капилляра, представляющего собой трубку из нержавеющей стали с внутренним и наружным диаметрами соответственно 1,0 и 2,0 мм. Для преобразования давления смеси в электрический сигнал применяли датчик давления марки

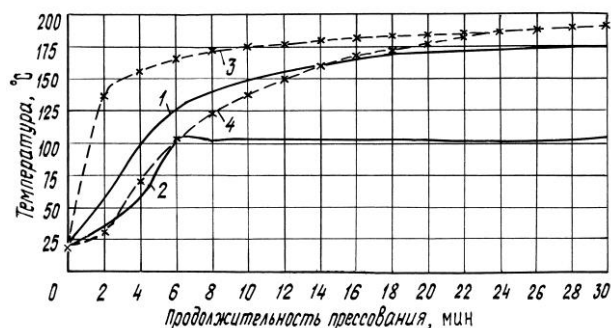


Рис. 2. Зависимость температуры древесностружечного брикета в процессе обработки от продолжительности прессования: 1, 3 – наружный слой, 2, 4 – внутренний слой; 1, 2 – экспериментальные данные, 3, 4 – данные, полученные расчетным путем

ДМ 5007У2. Схема установки для измерения показателей (температура, давление) парогазовой смеси внутри древесностружечного брикета в условиях горячего прессования представлена на рис. 1. Порядок работы установки следующий. При формировании древесностружечного брикета в него закладывали капилляр (4) и термодатчики (5). Сформированный брикет помещали между нагревательными плитами (7) лабораторного пресса. Во время прессования термодатчики (5) и датчик давления (3) передавали сигналы на потенциометр (1). Данные выводили на самописец.

Влажность внутри древесностружечного брикета определяли сушильно-весовым методом. Для этого в заранее установленное время прессование прекращали и из брикета отбирали образцы для определения влажности.

На рис. 2 показаны графики изменения температуры отдельных слоев стружечного брикета во время прессования. Там же нанесены кривые 3 и 4, которые получены расчетным путем и показывают изменение температуры наружных и внутреннего слоев в случае, если их прогрев происходил за счет теплопроводности и без изменения агрегатного состояния воды.

Как видно на рис. 2, температура наружного слоя (кривая 1) в первый период быстро возрастает: через 4 мин после начала прессования она достигает 100 °С, через 6 мин – 125 °С. Дальнейший прирост температуры менее значителен: за следующие 14 мин (с 6-й по 20-ю минуту) она увеличивается со 125 до 174 °С, т. е. примерно на 50 °С. На кривой 2

7

изменения температуры внутреннего слоя можно выделить три периода. В первом периоде (0 ... 4 мин) температура изменяется со сравнительно небольшой скоростью по закону, близкому к линейному. За 4 мин она повышается на 20 °С (с 23 до 53 °С). Во втором периоде температура растет с большей скоростью. Так, за следующие 3 мин она увеличивается до 105 ... 106 °С. Наконец, в третьем периоде, который начинается через 7 мин после начала прессования, температура стабилизируется на отметке 103 °С, на которой она удерживается длительное время, и только на 28-й минуте начинает медленно возрастать.

Сопоставим изменение температуры стружечного брикета во времени с аналогичными графиками, полученными для влажности. На рис. 3

показано изменение влажности в середине и около кромки стружечного брикета. Анализируя ход кривых, отметим следующее. Наружный слой (кривая 1), содержащий 21 % влаги, уже через 2 мин после начала прессования высыхает до 10 %. К 8-й минуте влажность достигает 2 %, после чего остается неизменной до конца опыта.

Влажность внутреннего слоя (кривая 2) остается на начальном уровне (17 %) первые 2 мин. Далее она быстро возрастает, достигая к периоду 6 ... 9 мин максимальных значений (53 ... 55 %). После 9 мин происходит быстрое падение влажности до 8 % (16 мин). Дальнейшее снижение имеет плавный, растянутый во времени характер. К 30-й минуте влажность внутреннего слоя становится равной средней влажности, т. е. 2 %.

Рис. 3. Зависимость влажности древесностружечного брикета в процесс обработки от продолжительности прессования: 1, 4 – наружный слой, 2, 5 – внутренний слой, 3, 6 – промежуточный слой

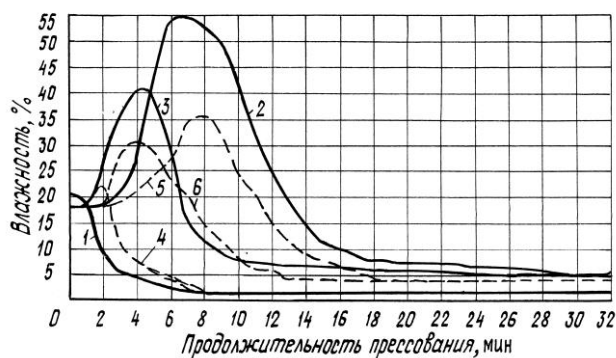
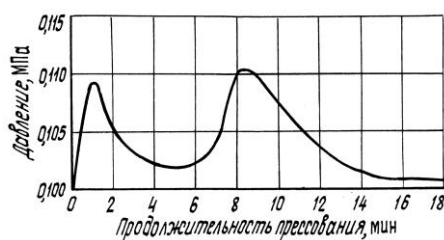


Рис. 4. Зависимость давления парогазовой смеси в древесностружечном брикете в процессе обработки от продолжительности прессования



Совершенно аналогично, только с небольшим сдвигом во времени в сторону начала прессования, происходит изменение влажности промежуточного слоя (кривая 3). Различия заключаются в следующем: возрастание влажности промежуточного слоя начинается раньше – через 1 мин после начала прессования. Максимум влажности (40 ... 41 %) достигается к 4 ... 5 мин. Резкое уменьшение этого показателя происходит в период 5 ... 10 мин, после этого он медленно изменяется с 8 до 5 % (10 ... 28 мин).

На рис. 4 представлен график изменения давления парогазовой смеси внутри древесностружечного брикета во время горячего прессования. Кривая имеет два ярко выраженных максимума: первый отмечен на 1-й минуте (0,109 МПа) второй – после 8-й минуты (0,111 МПа). Начиная с 9-й минуты давление внутри древесностружечного брикета уменьшается и на 15-й минуте прессования стабилизируется на уровне, близком к 0,101 МПа. Очевидно, что первое повышение давления происходит в результате защемления воздуха при уплотнении древесностружечного брикета, второе, по нашему мнению, является следствием перемещения парогазовой смеси, образующейся при прессовании.

Сопоставляя изменение температуры и влажности отдельных слоев стружечного брикета, а также давления парогазовой смеси внутри него, предлагаем следующее объяснение процессов, происходящих во время прессования. Естественно, что наружные слои брикета, находясь в контакте с плитами пресса, быстро нагреваются. Однако сравнение кривых 1 и 3 (см. рис. 2) говорит о том, что прогрев идет медленнее, чем можно было бы ожидать, исходя из теоретических посылок. Этому может быть только одно объяснение: по мере того, как все более глубокие слои брикета прогреваются до температуры 100 ... 105 °С, начинается переход имеющейся в них влаги из жидкого состояния в газообразное. На это расходуется значительная часть тепловой энергии, получаемой от плит пресса, поэтому прогрев наружных слоев происходит более медленно. Например, слой, удаленный от поверхности брикета на расстояние 2 мм, нагревается до температуры 100 °С за 4 мин. Согласно расчетам, этой температуры он должен был достигнуть через 40 с после начала прессования.

Следствие происходящего процесса парообразования – избыточное давление водяного пара в наружных слоях брикета. Возникший градиент давления является движущей силой молярного влагопереноса из наружных слоев в более удаленные от нагревательных плит пресса по капиллярной системе брикета. В результате этого уменьшение влажности наружных слоев (кривая 1, рис. 3) на 1 ... 3-й минуте прессования сопровождается увлажнением промежуточного слоя (кривая 3). Немного позже (4 ... 7 мин) влажность промежуточного слоя снижается, а внутреннего – возрастает. Это значит, что влага перемещается в более глубокие слои брикета. Подтверждением сказанного является установленное нами увеличение давления парогазовой смеси внутри древесностружечного брикета примерно в этот же период прессования: с 5-й по 8-ю минуту (рис. 4).

Молярный влагоперенос оказывает влияние на изменение температуры внутреннего слоя – кривая 2 (см. рис. 2). На протяжении первых 3-х минут цикла прессования, когда влажность внутреннего слоя не изменяется и сохраняется на уровне 17 ... 19 %, температура этого слоя увеличивается медленно и по линейному закону. Происходит это за счет перемещения тепла в брикете посредством теплопроводности благодаря наличию температурного градиента. Сравнение кривых 2 и 4 (рис. 2) говорит о том, что зафиксированная в опыте скорость изменения температуры меньше рассчитанной.

Как уже указывалось выше, причиной этого является расходование части поступающей тепловой энергии на парообразование в наружных слоях брикета. С 3-й минуты цикла прессования, влажность внутреннего слоя начинает быстро возрастать. Ранее это явление объяснялось переносом водяного пара из наружных слоев во внутренний. Это подтверждается тем, что температура внутреннего слоя с 3-й по 6-ю минуту увеличивается с большей скоростью, чем в первые 3 мин. Можно предположить, что поступающий пар, соприкасаясь с более холодной древесиной, конденсируется и способствует быстрому прогреву внутреннего слоя. После 6-й минуты температура внутреннего слоя стабилизируется на уровне 103 °С. Вероятно, именно эта температура соответствует фазовому переходу влаги из жидкого состояния в пар во внутреннем слое брикета и удерживается на этом уровне до тех пор, пока переход не завершится. Стабилизация температуры свидетельствует также о том, что испарение влаги происходит параллельно с удалением из брикета образующегося пара.

Необходимо отметить, что характер изменения влажности отдельных слоев (рис. 3) одинаков, независимо от места их расположения по площади стружечного брикета. В частности, в обоих случаях максимум влажности достигается одновременно: у промежуточных слоев – через 4 мин после начала прессования, у внутреннего – через 7 ... 8 мин. При этом максимальная влажность слоев в середине брикета выше, чем около его края: у промежуточных слоев – соответственно 41 и 31 %, у внутреннего – 55 и 36 %. Такое различие косвенно свидетельствует о том, что в ходе прессования давление пара в середине брикета выше, чем около края, т. е. имеет место градиент давления, направленный от кромки к середине брикета. Он должен вызывать молярный влагоперенос в направлении, параллельном пласти брикета, и удаление пара через его кромки, что имеет место в действительности.

Продолжая анализ рис. 3, обнаруживаем интересный факт. Через некоторое время после начала прессования влажность наружных и промежуточных слоев около края брикета становится выше, чем в середине. У наружных слоев это происходит практически сразу, и кривая 4 на всем своем протяжении располагается выше кривой 1; у промежуточных слоев – на 6-й минуте цикла прессования (пересечение кривых 3 и 6). Однако еще некоторое время спустя у рассматриваемых слоев происходит выравнивание влажности по площади брикета: наружные слои – на 6-й минуте прессования,

промежуточные – на 15-й. Иначе выглядит картина для внутреннего слоя. Его влажность в середине брикета стабильно остается более высокой, чем около кромки, вплоть до 15-й минуты, когда происходит выравнивание. Объяснить полученные результаты можно следующим образом. Избыточное давление, возникающее в более глубоких слоях стружечного брикета по мере их прогрева до температуры 103 °С, вызывает перемещение водяного пара в двух направлениях: в глубь брикета (что вызывает быстрый прогрев и повышение влажности внутреннего слоя) и в направлении от середины к краям (что способствует удалению парогазовой смеси из брикета и снижению его средней влажности).

Подводя итог выполненным исследованиям, считаем возможным сделать следующее заключение о процессах тепло- и массопереноса в древесностружечном брикете во время прессования. Первоначальный прогрев древесностружечного брикета происходит за счет теплопроводности. По мере того, как все более глубокие его слои нагреваются до температуры 100 ... 105 °С, начинается фазовый переход имеющейся в нем влаги из жидкого состояния в газообразное. При этом в зоне парообразования возникает избыточное давление, которое вызывает перемещение парогазовой смеси в двух направлениях: в глубь и от середины к краям брикета.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Отлев И.А.* Интенсификация производства древесностружечных плит. – М.: Лесн. пром-сть, 1989. – 192 с.
2. *Соснин М.И., Климова М.И.* Физические основы прессования древесностружечных плит. – Новосибирск: Наука, 1981. – 190 с.
3. *Шварцман Г.М., Щедро Д.А.* Производство древесностружечных плит. – М.: Лесн. пром-сть, 1987. – 320 с.

Белорусский государственный  
технологический университет

Поступила 28.10.2000 г.

*V.V. Tuleiko, V.B. Snopkov*

### **Compression of Particle Boards of Enlarged Thickness.**

#### **1. Heat and Mass Transfer in Wood-particle Briquet**

The mechanism of heat penetration and inner moisture drifting is suggested for the wood-particle briquet of the enlarged thickness by the heat compression.

---

## ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 630\*813

*И.С. Гелес*

Гелес Иосиф Соломонович родился в 1933 г., окончил в 1956 г. Ленинградский технологический институт, кандидат технических наук, старший научный сотрудник Петрозаводского государственного университета. Имеет около 300 печатных трудов в области научного обоснования и разработки экологически чистых ресурсосберегающих технологий при использовании древесной биомассы, применения отходов древесного сырья для очистки сточных вод различных производств.



### **К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ**

Показано влияние природы экстрагента, схемы экстракции, размера частиц и породы древесины на количество экстрактивных веществ; установлено влияние водорастворимых фенольных соединений на содержание лигнина; предложен метод гидролиза древесины и подготовки гидролизата для одновременного определения лигнина и состава полисахаридов.

древесина, химический анализ, методики.

Несмотря на то, что изучением древесного сырья занимаются давно, до сих пор отсутствует общепризнанная схема системного анализа его химического состава. При этом на основании совершенно различных методов делаются далеко идущие выводы [5, 6, 10–13].

Необходимо отметить разнობой в методиках на всех этапах подготовки и проведения анализа, начиная с выбора размера частиц сырья и кончая определением того или иного компонента.

Неоднократно обсуждалось [10, 11], какой должна быть степень измельчения материала, в большинстве случаев считается необходимым измельчать его до 0,25 ... 1,00 мм, предпочтительный размер 0,25 ... 0,50 мм.

Особенно много внимания уделялось процессу экстрагирования исходного сырья, так как от этого зависит устанавливаемое содержание экстрактивных веществ (ЭВ) и лигнина. Хегглунд рекомендует в качестве экстрагента диэтиловый эфир, подчеркивая при этом непригодность для указанных целей спиртов, особенно этилового, так как они извлекают некоторую часть лигнина [24, с. 161]; там же [24, с. 148] он дает методику опреде-

ления лигнина по Кенигу, где предусмотрена предварительная исчерпывающая экстракция древесины спиртом и эфиром. В широко используемом специальном пособии [11] при обсуждении этого вопроса не дано однозначных рекомендаций. О возможности применения самых разных растворителей отмечено в [14, с. 708]. Совершенно определенно сказано об этом в [17], где рекомендован только диэтиловый эфир. Авторы [10] считают целесообразным использовать в качестве экстрагента этиловый спирт. В методическом пособии [9] утверждается, что «... любой растворитель ... вызывает потери лигнина ...», а «... одним из лучших растворителей для обессмоливания исследуемого сырья считают спирто-толуольную смесь. Применение одного этанола не рекомендуется ...». Следует отметить, что тезис об экстрагировании спиртами или другими нейтральными растворителями какой-то части лигнина оспаривался неоднократно. Так, в [23] доказывалось, что речь идет не о лигнине, а о лигнинах. Подобную точку зрения отстаивали авторы работы [26]. Об извлечении фенольных компонентов, в основном дубильных, но не лигнина, полярными растворителями идет речь и в работе [25]. Наряду с указанными выше обстоятельствами нужно принимать во внимание токсичность используемых экстрагентов. Все ароматические и хлорированные углеводороды не должны применяться в общепринятых методиках. В связи с этим авторы [22] рекомендуют заменить бензол на циклогексан в спирто-бензольной смеси.

Другой узловым взаимосвязанным вопросом – выбор методов определения лигнина и полисахаридов на основе растворения последних. Известно множество вариантов выделения негидролизующего остатка – лигнина, одной из наиболее важных характеристик которого является содержание метоксильных групп [11, 17]. При этом практически никогда не связывали условия определения лигнина с сохранением моносахаридов как конечных продуктов гидролиза полисахаридной части. При классическом подходе лигнин выделяют, воздействуя на исходное сырье концентрированным раствором кислоты, хотя известна методика [7], когда эта операция следует за удалением легкогидролизующих полисахаридов (ЛГП). Во всяком случае отсутствуют данные о контроле за составом сахаров при определении лигнина, и наоборот, при определении полисахаридов методом гидролиза исследователя не интересует содержание твердого остатка. Как известно, анализ углеводов можно вести, определяя вначале ЛГП, затем трудногидролизующие полисахариды (ТГП), но можно идти по другому пути: гидролизовать весь полисахаридный комплекс (ПСК). В зарубежной литературе господствует последний подход. Во многих исследованиях используют всю процедуру, разработанную в 1954 г. автором [28]. Недостатки этой методики: необходимость гидролиза после разбавления концентрированного раствора кислоты под давлением, использование ионообменных смол и упаривание под вакуумом. Следовательно, методика сложна в аппаратном оформлении, многостадийна и трудоемка. Известны ее модификации с целью упрощения. Так, в [27] гидролиз после разбавления проводили при атмосферном давлении. На основании результатов сравнения этих двух аме-



риканских методов авторы [15] пришли к выводу, что способ [28] не обеспечивает полного гидролиза. При определении ЛГП и ТГП [9, 11, 17] применяют трудоемкие и продолжительные операции, которые могут привести к потере части моносахаридов [16]. Попытка предложить для гидролиза ПСК вместо серной трифторуксусную кислоту, на наш взгляд, не имеет перспектив из-за сложности процесса и необходимости введения поправочных коэффициентов на потерю моносахаридов [20].

Указанная выше сложная подготовка гидролизатов объясняется тем, что состав моносахаридов определяют в основном бумажно-хроматографическим методом, реже газо-жидкостной хроматографией, когда наличие минеральных составляющих негативно отражается на результатах.

Таким образом, при изучении химического состава растительного сырья анализ основных компонентов – лигнина и ПСК – проводят независимо друг от друга. Так, в часто применяемой схеме [17] неполное удаление ЭВ приводит к завышенному результату по содержанию лигнина: операции по подготовке гидролизатов к определению состава моносахаридов страдают рядом недостатков, основные из которых отмечены выше.

Целью данной работы является обсуждение некоторых основных аспектов определения главных составляющих вторичной ксилемы по новой схеме.

#### *Методическая часть*

Щепу для анализа получали на промышленных рубильных машинах из хлыстов, очищенных от ветвей, сучьев, вершин и коры, тщательно перемешивали, методом квартования выделяли среднюю пробу массой 6 ... 8 кг, из которой после дополнительного перемешивания отбирали навеску массой 350 ... 400 г. После подсушивания при комнатной температуре ее измельчали в опилки с основной фракцией 0,25 ... 0,50 мм, которые после сортирования помещали в герметичную тару. Разрыв во времени между приготовлением пробы и определением ЭВ не превышал 3 ... 4 нед. Экстракцию органическими растворителями вели до исчерпывания (90 ... 95 переливов). Вещества, растворимые в холодной и горячей воде определяли по методике [11], метоксильные группы – по [17], целлюлозу Кюршнера и Хоффера – по [11, 17], содержание лигнина и состав полисахаридной части – по [2, 3]\*.

На основании многочисленных опытов были внесены следующие изменения в режим гидролиза и подготовки гидролизатов к анализу по известному методу Класона в модификации Комарова: а) объем колбы 25 мл; б) температура 30 °С вместо 25 °С; в) продолжительность кипячения 2 ч вместо 1 ч.

При хроматографировании гидролизата использовали быстروفилтующую бумагу, предварительно пропитанную цитратно-фосфатным бу-

---

\* Экспериментальная часть проведена мл. науч. сотр. М.А. Коржовой и ст. лаб. Г.М. Кураевой.

ферным раствором с рН 5,0, и хроматографировали в течение 16 ... 17 ч. Моносахариды на хроматограммах проявляли с помощью анилин-фталата общепринятым способом.

Учитывая дискуссионность вопроса подготовки пробы к анализу (размер частиц, вид экстрагента и т. д.) и необходимость применения растворителей пониженной токсичности и пожароопасности, было проведено сравнение некоторых из них с использованием опилок различных фракций и древесных пород.

Из данных табл. 1 следует, что количество ЭВ зависит от размера частиц древесины, причем для хвойных в большей степени. Так, для сосны содержание ЭВ, извлекаемых из опилок размером менее 0,25 мм, в 2,47–2,52 раза больше, чем из фракции 0,50 ... 1,00 мм, для березы это соотношение составляет 1,20–1,22. Причем указанные различия мало зависят от применяемого экстрагента. Особо можно отметить резкое возрастание ЭВ в самой мелкой фракции хвойных, что согласуется с данными [10]. Для березы разница в содержании ЭВ между фракциями 0,50 ... 1,00 и 0,25 ... 0,50 мм практически отсутствует. Возможно, указанная особенность хвойных связана с необходимостью разрушения эпителиальных клеток смоляных ходов, отсутствующих у лиственных.

В целом можно отметить, что наибольшей экстрагирующей способностью обладает этиловый спирт, очень близки к нему спирто-бензольная смесь и изопропиловый спирт. Анализируя полученные данные можно прийти к выводу, что для экстракции следует использовать этиловый спирт и опилки размером 0,25 ... 0,50 мм.

Как известно, определение лигнина, включающее гидролиз ПСК, проводят после экстрагирования исходного материала органическими растворителями, в основном диэтиловым эфиром [9, 11, 12, 17, 28]. Однако некоторые авторы на этом не останавливаются и проводят дополнительную

Таблица 1

**Влияние природы экстрагента и размеров опилок на результаты определения содержания ЭВ (% от исходной абс. сухой навески)**

Экстрагент	Содержание ЭВ во фракции опилок, мм, из древесины								
	сосны (возраст 27 лет)			ели (возраст 75 лет)			березы (возраст 84 года)		
	0,50...1,00	0,25...0,50	≤0,25	0,50...1,00	0,25...0,50	≤0,25	0,50...1,00	0,25...0,50	≤0,25
Диэтиловый эфир	2,45	3,28	6,14	0,76	0,88	1,30	1,23	1,25	1,48
Ацетон	2,69	3,57	6,55	1,09	1,28	2,11	2,13	2,12	2,41
Этиловый спирт	3,05	4,10	7,43	1,45	1,64	2,50	2,58	–	2,55
Спирто-бензольная смесь (1:2)	2,89	3,79	7,29	1,41	1,43	2,30	2,20	2,25	2,51
Изопропиловый спирт	2,65	3,69	6,65	1,20	1,40	2,27	2,16	2,05	2,43

Таблица 2

**Влияние вида растворителя и схемы экстракции на результаты определения содержания (% от исходной абс. сухой навески) лигнина и метоксильных групп (древесина сосны)**

Показатели	Значение показателей для материала	
	проэкстрагированного	неэкстрагированного
Экстрагируемые вещества:		
по схеме 1:		
а) диэтиловым эфиром	6,54	–
б) горячей водой (последовательно)	3,22	3,01
по схеме 2:		
а) этиловым спиртом	8,13	–
б) горячей водой (последовательно)	2,40	2,20
Лигнин после экстракции по схеме:		
1,а	28,94	27,05
1,б	28,41	25,75
2,а	27,41	26,18
2,б	27,60	24,80
Общие метоксильные группы:		
а) в образцах, полученных по схеме:		
1,б	3,25	–
2,б	2,19	–
б) в продуктах конденсации при гидролизе экстрактивных:		
1,б	8,12	–
2,б	6,74	–
Конденсируемые вещества от гидролиза экстрактивных соединений:		
1,б	0,64	–
2,б	0,26	–

экстракцию водой или водно-органической смесью [21, 25]. При этом извлекают некоторые фенольные компоненты (лигнаны, дубильные и др.) и часть сахаров. Лигнин отличается от других ароматических соединений, содержащихся в древесине, в основном количеством метоксильных групп и ИК-спектром. Поэтому была сделана попытка охарактеризовать водорастворимые компоненты по этим показателям. Экстракцию водой проводили после диэтилового эфира и этилового спирта. Установили, что содержание лигнина минимально после последовательно проведенной экстракции этиловым спиртом и горячей водой, после диэтилового эфира – максимально. В веществах водных экстрактов содержание метоксильных групп незначительно, часть содержащихся компонентов переходит в спирт. Фенольные соединения водных экстрактов в значительной степени осаждаются при гидролитическом воздействии 2 %-й HCl. У этих продуктов конденсации было определено содержание метоксильных групп, которое оказалось значительно ниже, чем в лигнине (табл. 2).

Наряду с этим были сняты ИК-спектры лигнина из древесины, сухих веществ водных экстрактов и продуктов конденсации. Сравнение показало наличие существенной разницы между ними в разных областях спектра ( $700 \dots 3400 \text{ см}^{-1}$ ). Эти данные позволяют считать, что водорастворимые фенольные соединения древесины не относятся к лигнинам, и их удаление перед кислотным гидролизом правомерно. Поэтому водная экстракция как обязательная операция была использована при определении химического состава вторичной ксилемы хвойных и лиственных пород специально перед гидролизом ПСК.

Предложенная методика гидролиза, позволяющая получать одновременно данные о количестве лигнина и составе полисахаридов [3], в равной мере относится к древесному сырью и целлюлозе любого вида. Анализ дополняется вариантом нисходящей бумажной хроматографии, который избавляет от необходимости проводить многочисленные подготовительные трудоемкие манипуляции с гидролизатом. Пропитка хроматографической бумаги цитратно-фосфатным буфером [2] не требует удаления минеральных веществ, и подготовка сводится к нейтрализации гидролизата до рН 3,5 ... 5,5. Подвижная смесь за 15 ... 17 ч (в зависимости от температуры) достаточно четко разделяет 10 компонентов, включая 2 уреновые кислоты. Все это относится и к анализу гидролизатов ЛГП, ТГП, а также сульфитных щелоков. Указанный вариант бумажно-хроматографического определения моносахаридов используется автором с 1966 г. [2]. Это позволяет намного сократить продолжительность и трудоемкость анализа. Особенностью предложенной методики [3] является определение глюкозы наряду с моносахаридами гемицеллюлоз. Как правило, зарубежные исследователи ограничиваются определением гемицеллюлоз, а содержание целлюлозы получают как разницу между 100 % и содержанием других полисахаридов [4], что нивелирует возможные ошибки и промахи анализа. Некоторое увеличение объема работ компенсируется надежностью получаемых данных, так как сумма ПСК и лигнина (на проэкстрагированный материал) должна составлять около 100 %. В случае существенных отклонений (более 10 %) определение сахаров повторяют. Если получают прежние данные, то анализ полностью переделывают, начиная с гидролиза пробы.

На основании указанных посылок был проведен анализ вторичной ксилемы основных лесообразующих древесных пород Карелии. Однако в этой работе (табл. 3) не учтено содержание уреновых кислот (отсутствие свидетелей), количество которых у лиственных пород может достигать 4 ... 6 %. Исходя из литературных данных [17] и табл. 3, с достаточным основанием можно считать, что для хвойных общая сумма лигнина и углеводов, включая полиурониды, не превышала бы 103 %, что следует признать вполне приемлемым. Для осины эта сумма была бы близкой к 100 %. По нашему мнению, при указанной схеме подготовки древесных опилок количество кислоторастворимых ароматических соединений с максимумом поглощения около 280 нм и собственно лигнина в гидролизатах крайне ограничено и не может заметно сказаться на общих результатах анализа.

Таблица 3

**Химический состав (%) древесины основных лесообразующих пород Карелии**

Номер по порядку	Показатели	Значения показателей для древесины			
		ели	сосны	березы	осины
1	Вещества, экстрагируемые диэтиловым эфиром	0,98	5,21	1,46	3,44
2	« этиловым спиртом	2,06	5,95	2,62	7,06
3	« горячей водой (98°С)	2,47	4,06	2,17	5,82
4	« холодной водой	1,52	2,07	1,48	3,30
5	Зольные вещества	0,24	0,32	0,31	0,70
6	Целлюлоза по Кюршнеру– Хофферу	49,6	47,2	44,8	44,9
7	Вещества, растворимые в горячей воде (после № 2)	<u>1,64</u> 1,61	<u>1,61</u> 1,51	<u>1,17</u> 1,14	<u>2,50</u> 2,32
8	Лигнин:				
	а) после экстракции диэтиловым эфиром	<u>28,57</u> 28,29	<u>28,26</u> 26,79	<u>21,50</u> 21,19	<u>23,63</u> 22,82
	б) после экстракции этиловым спиртом и горячей водой	<u>28,10</u> 27,08	<u>27,85</u> 25,77	<u>21,00</u> 20,22	<u>22,57</u> 20,45
9	Общие метоксильные группы:				
	а) в исходной пробе	4,79	4,46	5,40	5,83
	б) в лигнине (№ 8, б)	14,53	14,17	19,02	17,28
	в) в водорастворимых веществах (№ 7)	3,04	1,94	–	3,09
10	Полисахариды по РВ в проэкстрагированной спиртом и горячей водой навеске	–	75,6	68,6	65,1
11	Моносахариды ( в пересчете на полисахариды) там же:				
	галактоза	2,62	1,89	1,10	0,70
	глюкоза	51,6	50,5	46,8	45,9
	манноза	10,9	11,6	3,94	4,15
	арабиноза	2,03	2,32	2,14	1,65
	ксилоза	6,34	6,38	28,2	20,6
12	Сумма моносахаридов ( в пересчете на полисахариды)	73,5	72,7	79,1	72,5
13	Сумма моносахаридов (№ 12) и лигнина (№ 8, б)	101,6	100,5	100,4	95,1

Примечания. 1. В знаменателе приведены значения показателей в пересчете на исходную неэкстрагированную навеску. 2. Во всех образцах определено по две урсоловые кислоты.

В пересчете на исходную неэкстрагированную древесину значения всех составляющих полисахаридного комплекса и лигнина естественно будут ниже, особенно при учете, наряду с ЭВ, таких компонентов, как ацетильные группы, белки и др., определяемые вне лигно-углеводного комплекса.

Из табл. 3 следует, что у ели, березы и осины большая разница между эфиром- и спирторастворимыми компонентами. Возникает вопрос – все

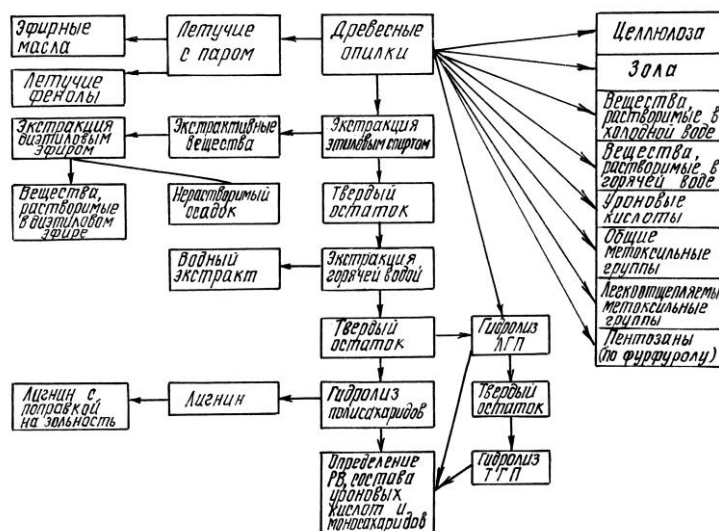
Таблица 4

**Влияние схемы экстракции на результаты определения содержания веществ, растворимых в диэтиловом эфире (древесина сосны)**

Номер по порядку	Показатели	Значения показателей для образцов, полученных по схеме	
		1	2
1	Вещества, растворимые в диэтиловом эфире	3,35	6,54
2	« в этиловом спирте	4,45	8,13
3	Растворимая в диэтиловом эфире часть этанольного экстракта	<u>3,93</u>	<u>7,51</u>
4	Соотношение между показателями № 3 и № 1 для эфирорастворимых веществ	88,40	92,60
		1,17	1,15

Примечание. В числителе приведено содержание растворимых веществ в процентах от исходной абс. сухой навески, в знаменателе – соотношение между показателями № 3 и № 2, выраженное в процентах.

ли вещества, растворимые в диэтиловом эфире, извлекаются им при экстракции. Ведь известен факт неполноты их удаления из древесины сосны указанным растворителем [8, с. 324–325]. В связи с этим были проведены специальные опыты по определению количеств веществ, извлекаемых при непосредственной экстракции сосновых опилок и из этанольной вытяжки того же образца. Данные табл. 4 показывают, что диэтиловый эфир извлекает из опилок на 15 ... 17 % веществ меньше, чем из этанольного экстракта. Даже «исчерпывающая» экстракция не приводит к полному извлечению веществ, потенциально растворимых в диэтиловом эфире. Это обстоятельство было учтено и отражено в схеме анализа древесного сырья (см. рисунок).



Принципиальная схема анализа древесного сырья

Предлагаемая схема отличается от других тем, что в качестве стартового экстрагента используется этиловый спирт. Смолы и жиры выделяют из полученного экстракта диэтиловым или петролейным эфиром. Водная экстракция после спиртовой представляется необходимой при системном анализе сырья. Как уже отмечалось, лигнин и ПСК определяют в одной навеске путем гидролиза 72 %-й серной кислотой, для моносахаридов и углеводов кислот используют обычную процедуру. Пентозаны, полиурониды и др. характеристики химического состава можно получить другими методами. Например, для легкоотщепляемых метоксильных групп предложен метод [1], отличный от обычно применяемого.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гелес И.С., Васильева Н.А. Газохроматографическое определение метоксильных групп в виде метилового спирта в лигнинсодержащих материалах // Гидролизное производство: Научн.-техн. рефер. сб. – 1982. – № 6. – С. 12–14.
2. Гелес И.С. Исследование состава сахаров ускоренным бумажно-хроматографическим методом // Химическая переработка древесины: Реф. информ. – 1967. – № 18. – С. 7–8.
3. Гелес И.С., Коржова М.А. Метод определения состава полисахаридов и лигнина в древесине и целлюлозе. – Петрозаводск. – [2] с. – (Информ. листок КарЦНТИ; № 25-79).
4. Иоргенсене Л. Химия целлюлозных волокон // Основные представления о волокнах, применяемых в бумажной промышленности. – М.: Гослесбумиздат, 1962. – С. 118–138.
5. Левин Э.Д., Рубчевская Л.П., Чупрова Н.А. Изменение химического состава тканей ствола лиственницы сибирской во время вегетации // Химия древесины. – 1977. – № 3. – С. 89–92.
6. Литвак П.В. О содержании основных органических веществ в древесине сосны обыкновенной // Лесн. журн. – 1972. – № 5. – С. 21–24. – (Изв. высш. учеб. заведений).
7. Меликян Н.М. Структурные изменения и накопление лигнина в растениях в связи с условиями среды. – Ереван: Изд-во Ерев. ун-та, 1959. – 205 с.
8. Непенин Н.Н. Технология целлюлозы. Том 1. Производство сульфитной целлюлозы. – М.; Л.: Гослесбумиздат, 1956. – 748 с.
9. Оболенская А.В., Ельницкая З.П., Леонович А.А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы. – М.: Экология, 1991. – 320 с.
10. Пояснительная записка к проекту отраслевого стандарта «Сырье для целлюлозно-бумажной промышленности. Методы количественного определения основных компонентов древесины» / Э.И. Чупка, Ф.Г. Калашникова, А.В. Бейгельман, Т.Ф. Коваль // Братск: СибНИИЦК, 1984. – 24 с.
11. Практические работы по химии древесины и целлюлозы / А.В. Оболенская, В.П. Щеголев, Г.Л. Аким и др. // М.: Лесн. пром-сть, 1965. – 412 с.
12. Скриган А.И., Бельнская Т.В. Об изменении углеводного состава древесины сосны в зависимости от возраста // Сб. науч. работ Ин-та физико-органич. химии АН БССР. – 1959. – Вып. 7. – С. 159–173.
13. Скриган А.И., Мурашкевич Т.В. О свойствах лигнина, выделенного из древесины разновозрастной сосны // Сб. науч. работ Ин-та физико-органич. химии АН БССР. – 1959. – Вып. 7. – С. 150–157.

14. Справочник бумажника. Часть первая. – М.: Лесн. пром-сть, 1964. – 841 с.
15. Сравнительная характеристика методов гидролиза целлюлозных материалов / О.Е. Лозовская, Е.Т. Удод, Н.И. Малахова, М.Н. Маруняк // Химия древесины. – 1976. – № 6. – С. 17–18.
16. Ушаков И.И., Хаджаева С.Г. Определение углеводного состава древесины и целлюлозы // Целлюлоза, бумага и картон: Реф. информ. – 1971. – № 31. – С. 11–12.
17. Шарков В.И., Куйбина Н.И., Соловьева Ю.П. Количественный химический анализ растительного сырья. – М.: Лесн. пром-сть, 1968. – 60 с.
18. Шарков В.И., Собецкий С.В. О химическом составе древесины. Сообщение VIII // ЖПХ. – 1948. – Т. 21, № 6. – С. 659–666.
19. Шарков В.И., Цветкова Е.С. Изменение химического состава древесины в процессе ее роста // Сб. тр. ВНИИГС. – 1950. – Т. 111. – С. 69–84.
20. Analyse von Holz und Zellstoff durch Totalhydrolyse mit Trifluoressigsäure / D. Fendel, G. Wegener, A. Heizmann, M. Przyklenk // Cellulose Chemistry and Technology. – 1978. – Vol. 12, N 1. – P. 31–37.
21. Ekman P. A scheme for routine analysis of Norway spruce wood extractives // Acta Acad. Aboen. – 1979. – Vol. 39, N 5. – P. 88–90.
22. Fengel D., Przyklenk M. Vergleichende Extraktbestimmungen zur Ersatz von Borsol durch Cyclohexan // Holz als Roh- und Werkstoff. – 1983. – Bd. 41, N 5. – S. 193–198.
23. Freudenberg K., Knof L. Die Lignane des Fichtenholzes // Chemische Berichte. – 1957. – 90. Jahrg. – S. 2857–2870.
24. Hagglung E. Holzchemie. – Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft. M. B. H., 1928. – 275 s.
25. Kubel H., Weipmann G., Lange W. Untersuchungen zur Cancerogenität von Holzstaub. Die Extraktstoffe von Buche und Fichte // Holz als Roh- und Werkstoff. – 1988. – Bd. 46, N 6. – S. 215–220.
26. Lignans and Brauns' Lignins from Softwood / A. Sakakibara, T. Sasaya, K. Miki, H. Takahashi // Holzforsch. – 1987. – Bd. 41, N 1. – S. 1–11.
27. Renate H. Die Polysaccharidzusammensetzung des Holzes Verschiedener Alterstufen von Taxodium Distichum // Holzforsch. – 1971. – Bd. 21, N 1. – S. 15–18.
28. Techniques for the determination of pulp constituents by quantitative paper chromatography / J. F. Saeman, W.E. Moore, R.L. Mitchell, M.A. Millet // Tappi. – 1954. – Vol. 37, N 8. – P. 336–343.

Петрозаводский государственный  
университет

Поступила 02.06.99.

*I.S. Geles*

### **To the Question of Determining Chemical Composition of the Wood Raw Material**

The influence of extractant nature, extraction scheme, particle size and wood species on the quantity of extractive substances are shown. The influence of water-soluble phenol compounds on the lignin content is set. The wood hydrolysis method and hydrolysis preparation are suggested for the simultaneous determination of lignin and polysaccharide composition.



УДК 676. 017

***В. И. Комаров, М. Ю. Кузнецова***

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. Имеет более 160 печатных работ в области исследования свойств деформативности и прочности целлюлозно-бумажных материалов.



Кузнецова Мария Юрьевна родилась в 1974 г., окончила в 1997 г. Архангельский государственный технический университет, аспирант кафедры технологии целлюлозно-бумажного производства Архангельского государственного технического университета. Область научных интересов – исследование деформативности и прочности целлюлозно-бумажных материалов.

**ВЛИЯНИЕ pH БУМАЖНОЙ МАССЫ  
НА ВЯЗКОУПРУГИЕ СВОЙСТВА БУМАГИ ДЛЯ ПЕЧАТИ**

Установлено, что изменение вязкоупругих и стандартных прочностных характеристик бумаги для печати с ростом pH бумажной массы при отливе носит аperiodический характер.

бумага для печати, pH, вязкоупругость, работа разрушения, ТЕА, трещиностойкость, прочность, деформативность, критическая длина волокна.

Характеристики бумаги, от которых зависит ее поведение в печатном процессе, могут быть разделены на две группы: а) определяющие качество прохождения через транспортную систему печатной машины; б) обеспечивающие необходимое качество печати [7–9]. К первой группе, кроме характеристик механической прочности, относятся и характеристики вязкоупругости, которые отечественными стандартами на бумагу для печати не нормируются. В работе [2] показано, что бумага – это вязкоупругий материал, в котором наряду с мгновенными упругими деформациями развиваются неупругие деформации, величина которых зависит, в определенной степени, от длительности или скорости приложения нагрузки.

До последнего времени при оценке некоторых видов бумаги из вязкоупругих характеристик наиболее широко использовали работу разрушения  $A_p$ . В настоящее время все чаще применяют такие характеристики, как ТЕА (абсорбированная при разрушении образца энергия) [12] и трещиностойкость, оцениваемая величиной  $J$ -интеграла [6, 11].

Композиция бумаги для печати может содержать различные химикаты, удержание которых осуществляется в широком диапазоне pH. В связи с

этим исследование влияния рН бумажной массы, как самостоятельного технологического фактора, на вязкоупругие свойства бумаги способствует построению общей картины формирования вязкоупругости бумаги в процессе производства.

Нами была проведена серия экспериментов, в которых ставились задачи исследовать влияние следующих факторов на вязкоупругие свойства целлюлозно-бумажного материала:

рН бумажной массы при отливе;

количество вводимого флокулянта ПАА марки «Praestol» (при отсутствии в композиции наполнителя) при изготовлении материала как в кислой (рН 5, 0), так и в щелочной (рН 9,0) среде;

количество катионного крахмала, вводимого в материал как в кислой, так и в щелочной среде;

комплекс технологических факторов, влияющих на трещиностойкость бумаги.

В настоящей статье, первой из планируемой серии работ, рассмотрено влияние рН бумажной массы на вязкоупругие, деформационные и прочностные свойства бумаги. В процессе отлива рН, равный 4,5; 5,0; 6,0, корректировали введением сульфата алюминия, рН 7,0; 8,0; 9,0; 10,0 – введением NaOH (табл. 1).

Таблица 1

#### Расходы корректирующих добавок для достижения заданных значений рН

Корректирующая добавка	Количество корректирующей добавки, г / г волокна, для достижения рН						
	4,5	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	1,82	1,36	0,45	–	–	–	–
NaOH	–	–	–	0,07	0,09	0,11	0,24

Таким образом, оценивая влияние рН на характеристики бумаги, необходимо учитывать и воздействие корректирующей добавки.

Все образцы были изготовлены из смеси лиственной (85 %) и хвойной (15 %) сульфатной блененной целлюлозы. Степень помола – до 30 °ШР, масса 1 м<sup>2</sup> – 70 г.

Вязкоупругие свойства бумаги оценивали, используя характеристики (работа разрушения  $A_p$  и ее составляющие  $A_y$ ,  $A_{3-y}$ ,  $A_n$ ,  $A_t$ ), полученные при обработке экспериментальной зависимости усилие – удлинение (рис. 1, а) и расчетной зависимости напряжение – деформация (рис. 1, б). При этом соблюдалось условие  $A_p = A_y + A_{3-y} + A_n + A_t$  [3]. Были рассчитаны значения составляющих работы разрушения с учетом того, что работа, совершаемая на определенном этапе деформирования, равна площади под соответствующим участком кривой усилие – удлинение (рис.1, а). Кроме того, были рассчитаны вклады работ, совершаемых на различных участках деформирования, в работу разрушения.

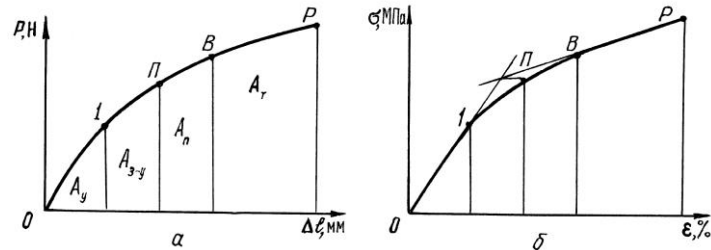


Рис. 1. Зависимости  $P - \Delta l$  (а) и  $\sigma - \varepsilon$  (б) с характерными точками:  $I$  – предел упругости;  $\Pi$  – точка начала развития пластических деформаций;  $B$  – точка начала зоны предразрушения;  $P$  – точка разрушения образца ( $A_y$  – работа в упругой зоне, затрачивая на деформирование образца до достижения предела упругости;  $A_{з-у}$  – работа в замедленно-упругой зоне, затрачиваемая на деформирование образца от точки  $I$  до точки  $\Pi$ ;  $A_n$  – работа, затрачиваемая на деформирование образца от точки  $\Pi$  – до зоны предразрушения в точке  $B$ ;  $A_r$  – работа, затрачиваемая на развитие трещины)

Варьирование исследованных параметров наполнения целлюлозно-бумажных материалов (рН бумажной массы при отливе, расход флокулянта и связующего вещества, содержание наполнителя) приводит к различным изменениям в структуре материала. При этом изменяются и вязкоупругие свойства (или степень их проявления), которые определяют характер деформирования материала. Существует гипотеза, в соответствии с которой поведение целлюлозно-бумажного материала после зоны упругости определяется «критической» длиной волокна [5]. Понятие «критической» длины волокна принято из теории прочности композитов [4]. При разрушении волокнистого композита волокна, имеющие длину больше «критической», разрываются, а волокна с длиной меньше «критической» выдергиваются из образца. Изучение влияния различных технологических факторов на характеристики вязкоупругости целлюлозно-бумажного материала на различных этапах деформирования позволит с большей вероятностью прогнозировать производство бумаги с заданными свойствами.

Для наполненных печатных видов бумаги, которые на практике редко испытывают разрушающие нагрузки, важно не допустить при переработке или использовании значительных необратимых (пластических) деформаций. Для этого желательно увеличить относительную долю (вклад) работы, совершаемой на стадии упругих и замедленно-упругих деформаций, при этом разрушающее усилие может оставаться на прежнем уровне.

Как видно из рис. 2, где представлены кривые зависимости  $P - \Delta l$ , характер деформирования образцов, изготовленных при различных рН отлива, различен. Наибольшее удлинение до разрыва и разрушающее усилие имеют образцы, изготовленные при рН 7,0, у них же и самая высокая вязкоупругость (табл. 2). Наиболее «хрупкими» оказались образцы, отлитые при

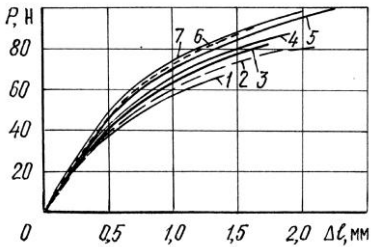


Рис. 2. Кривые зависимости  $P-\Delta l$  образцов бумаги, изготовленной при различных рН отлива: 1 – рН 6,0; 2 – 4,5; 3 – 9,0; 4 – 5,0; 5 – 7,0; 6 – 8,0; 7 – 10,0

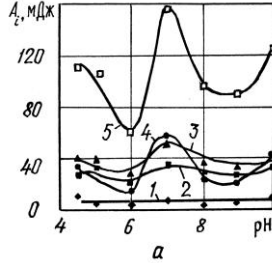
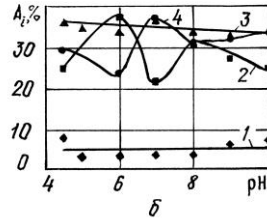


Рис. 3. Зависимость различных составляющих работы разрушения  $A_i$  (а) и их относительного вклада в работу разрушения (б) от рН бумажной массы: 1 –  $A_y$ ; 2 –  $A_{3-y}$ ; 3 –  $A_n$ ; 4 –  $A_r$ ; 5 –  $A_p$



рН 6,0 – они имеют меньшее удлинение до разрыва и разрушающее усилие, что и обуславливает низкое значение  $A_p$  (табл. 2).

На рис. 3 приведены зависимости составляющих работы разрушения, а также относительных вкладов этих составляющих в работу разрушения от рН среды.

Из табл. 2 и рис. 3 следует, что вклад составляющих  $A_y$  и  $A_n$  в работу разрушения при изменении рН бумажной массы изменяется незначительно. Более значительные изменения, но противоположного характера, наблюдаются у составляющих  $A_r$  и  $A_{3-y}$ . Полученные экспериментальные данные позволяют утверждать, что вязкоупругость исследуемых образцов бумаги определяется процессами, происходящими в начальный период замедленно-упругой деформации, и трещиностойкостью в области развития трещин. Максимальная вязкоупругость отмечена у образцов из бумажной массы, имеющей рН 7,0.

По данным табл. 2 и табл. 3, где приведены фундаментальные, деформационные и прочностные характеристики бумаги, изготовленной при различных рН отлива, можно сделать вывод, что высокие значения  $A_y$  не

Таблица 2

**Изменение работы разрушения и ее составляющих (мДж) в зависимости от рН среды**

рН	$A_y$	$A_{3-y}$	$A_n$	$A_r$	$A_p$
4,5	9,5	27,8	40,3	33,1	110,7
5,0	4,3	33,0	38,3	32,7	108,3
6,0	2,5	22,7	21,0	14,5	60,7
7,0	6,4	35,1	57,2	58,0	156,7
8,0	3,6	29,3	32,8	29,9	95,6
9,0	5,9	25,2	29,9	28,8	89,9
10,0	9,0	31,7	42,9	41,5	125,1

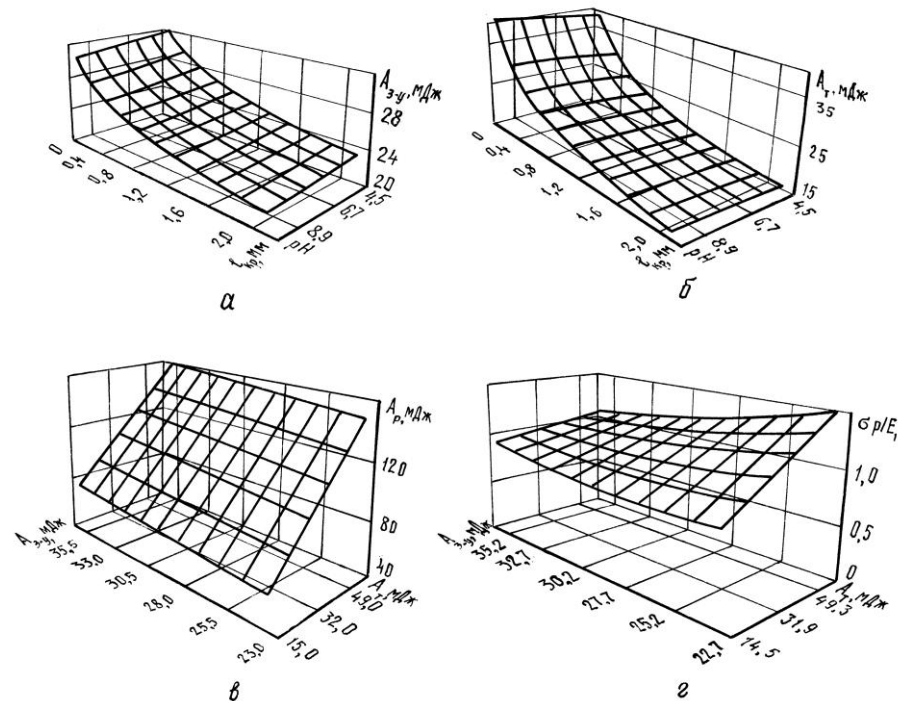


Рис. 4. Влияние  $l_{кр}$  и рН (а, б),  $A_{3-y}$  и  $A_T$  (в, г) на характеристики вязкоупругости: а –  $A_{3-y}$ , б –  $A_T$ , в –  $A_p$ , г –  $\sigma_p/E_1$

обуславливают высокую прочность образцов. Кривая, показывающая изменение доли  $A_T$ , согласуется с изменением прочностных характеристик (рис. 5 в). Однако суммарная доля  $A_y$  и  $A_{3-y}$ , т. е. работ, совершаемых на тех участках деформирования, за пределами которых начинаются нежелательные пластические деформации, не является постоянной величиной, как и сумма работ  $A_y$  и  $A_{3-y}$ .

Как видно из рис. 4, где приведены зависимости некоторых характеристик вязкоупругости в виде поверхности отклика от двух факторов, показатели  $A_T$  и  $A_{3-y}$  достигают высоких значений в щелочной среде (рис. 4, а, б). Главной составляющей, которая определяет величину  $A_p$ , является  $A_T$ : наибольших значений  $A_p$  достигает с ростом  $A_T$  (рис. 4, в). Отношение  $\sigma_p/E_1$  остается относительно стабильным в исследуемом диапазоне характеристик вязкоупругости, однако наиболее высоких значений оно достигает с ростом  $A_T$ , т. е. с ростом вязкоупругости и прочности образцов. В целом по зависимостям, представленным на рис. 4, можно отметить, что практически во всем диапазоне рН работа  $A_p$  зависит в основном от  $A_T$ , т. е. определяется трещиностойкостью образцов.

Как следует из рис. 5, зависимость фундаментальных, деформационных и прочностных характеристик от рН бумажной массы носит аperiодический характер.

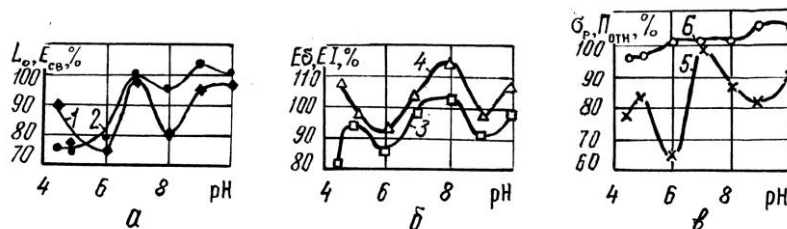


Рис. 5. Зависимость прочностных и деформационных характеристик бумаги от pH бумажной массы: *a* – фундаментальные свойства волокон, *б* – жесткость бумаги, *в* – прочность бумаги; 1 – нулевая разрывная длина  $L_0$ , 2 – межволоконные силы связи  $F_{cb}$ , 3 – жесткость при растяжении  $E\delta$ , 4 – жесткость при изгибе  $EI$ , 5 – разрушающее напряжение  $\sigma_p$ , 6 – относительное сопротивление продавливанию  $\Pi_{отн}$

На фундаментальные свойства волокна pH отлива оказывает существенное влияние. Кривая на рис. 5, *a*, отражающая изменение  $F_{cb}$  от pH, демонстрирует значительный рост данного показателя при переходе от кислой к щелочной среде. При pH 7,0, т. е. при незначительном количестве вводимых химикатов, наблюдаются высокие значения сил связи. Известно, что образование межволоконных связей происходит при непосредственном участии дипольных молекул воды [1]. Очевидно, нейтральная среда наилучшим образом способствует образованию прочных межволоконных связей. Собственная прочность волокна, характеризуемая показателем  $L_0$ , в щелочной среде также выше (рис. 5, *a*). На результат определения «нулевой» разрывной длины оказывают большое влияние межволоконные силы связи и плотность материала. Плотность характеризует такое фундаментальное свойство, как способность к уплотнению во влажном состоянии. Полученные результаты показывают увеличение данного показателя при росте pH бумажной массы во время отлива. В щелочной среде волокна целлюлозы набухают в большей степени, и площадь поверхности, способная к связыванию, растет. При этом повышается также и сопротивление продавливанию (рис. 5, *в*).

Дополнительно для исследуемых образцов целлюлозно-бумажного материала определяли «критическую» длину волокна  $l_{кр}$ . Как видно из табл. 3, изменение данной величины при увеличении pH среды также неоднозначно. Характеристика  $l_{кр}$  имеет максимальное значение при pH 6,0, т. е. при минимальной прочности образцов. Проведенный корреляционный анализ (табл. 4) показал, что при снижении «критической» длины волокна возрастают  $P_p$  и  $\sigma_p$  (соответственно  $r = -0,78$  и  $-0,76$ ). Значимые отрицательные коэффициенты корреляции также получены для сопротивления продавливанию ( $r = -0,97$ ) и разрывной длины ( $r = -0,83$ ). Следовательно  $l_{кр}$ , учитывающую собственную прочность волокна, силы связи и геометрические параметры волокна (т.е. структуру материала), можно считать в

Таблица 3

**ВЛИЯНИЕ pH БУМАЖНОЙ МАССЫ ПРИ ОТЛИВЕ НА ПРОЧНОСТЬ И ДЕФОРМАТИВНОСТЬ БУМАГИ**

pH	$F_{св}$ , МПа	$L_0$ , м	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$\delta$ , мкм	$L$ , м	$\sigma_p$ , МПа	$\Pi_{отн}$ , кПа	$R_{отн}$ , мН	$l_{кр}$ , мм	$E_1$ , МПа	$\varepsilon_p$ , %	$E\delta \cdot 10^{-6}$ , Н/м	$\sigma_p/E_1$ , %	$EI$ , мН·см <sup>2</sup>	ТЕА, Дж/м <sup>2</sup>	Индекс ТЕА, Дж/г
4,5	1,34	8 941	0,75	85,6	8 505	63,72	445	673	0,83	6 069	2,06	520	1,05	37,2	73,8	1,15
5,0	1,32	7 689	0,73	86,2	9 356	67,87	443	830	0,49	6 959	1,89	600	0,98	33,4	72,2	1,15
6,0	1,39	7 380	0,74	85,6	7 031	51,80	168	816	2,2	6 335	1,44	542	0,82	31,3	40,5	0,64
7,0	<b>1,77</b>	<b>10 045</b>	0,78	82,8	10 459	<b>81,85</b>	<b>462</b>	691	0,67	7 633	2,32	<b>632</b>	1,07	<b>34,5</b>	104,5	1,61
8,0	1,69	8 109	0,74	84,6	9 528	70,28	464	637	0,54	7 707	1,68	652	0,91	39,6	63,7	1,02
9,0	1,85	9 463	0,76	81,8	8 666	66,25	493	691	0,63	6 992	1,73	572	0,95	34,3	59,9	0,96
10,0	1,79	9 688	0,79	84,6	9 399	74,66	489	695	0,69	7 346	2,00	621	1,02	36,9	83,4	1,24

Примечание. Жирным шрифтом выделены величины характеристик, принятые на рис. 5 за 100 %.

Таблица 4

*Коэффициенты корреляции вязкоупругих свойств с показателями деформативности и прочности бумаги*

Показатели	TEA, Дж/м <sup>2</sup>	$l_{кр}$ , мм	$\sigma_p/E_1$ , %	$A_y$ , мДж	$A_{3-y}$ , мДж	$A_{п}$ , мДж	$A_{т}$ , мДж	$A_{р}$ , мДж	$A_y$ , %	$A_{3-y}$ , %	$A_{п}$ , %	$A_{т}$ , %
$P_p$ , Н	<b>0,93*</b>	<b>-0,77</b>	<b>0,77</b>	0,46	<b>0,92</b>	<b>0,90</b>	<b>0,93</b>	<b>0,93</b>	-0,05	<b>-0,81</b>	0,33	<b>0,94</b>
$\sigma_p$ , МПа	<b>0,93</b>	<b>-0,76</b>	<b>0,76</b>	0,45	<b>0,88</b>	<b>0,89</b>	<b>0,94</b>	<b>0,92</b>	-0,04	<b>-0,83</b>	0,27	<b>0,97</b>
$\varepsilon_p$ , %	<b>0,96</b>	-0,58	<b>0,97</b>	0,70	<b>0,81</b>	<b>0,98</b>	<b>0,94</b>	<b>0,97</b>	0,27	<b>-0,93</b>	0,69	<b>0,82</b>
$E_1$ , МПа	-0,70	0,02	-0,49	-0,13	-0,49	-0,72	-0,72	-0,68	0,23	0,51	-0,66	-0,55
$P_{отн}$ , кПа	0,66	<b>-0,97</b>	0,73	0,59	0,61	0,60	0,64	0,65	0,34	<b>-0,80</b>	0,01	<b>0,82</b>
$R$ , мН	-0,39	0,50	-0,41	-0,49	-0,14	-0,34	-0,40	-0,37	-0,39	0,61	0,04	-0,57
$F_{св}$ , МПа	0,65	<b>-0,97</b>	0,65	0,41	0,69	0,59	0,65	0,65	0,12	-0,70	-0,04	<b>0,83</b>
$L_0$ , м	<b>0,77</b>	-0,48	<b>0,75</b>	<b>0,75</b>	0,43	0,71	<b>0,78</b>	0,74	0,47	<b>-0,89</b>	0,12	<b>0,84</b>
$L$ , м	<b>0,88</b>	<b>-0,83</b>	0,71	0,33	<b>0,91</b>	<b>0,85</b>	<b>0,89</b>	<b>0,88</b>	-0,16	<b>-0,75</b>	0,31	<b>0,93</b>
$EI$ , мН·см <sup>2</sup>	0,29	-0,60	0,34	0,41	0,27	0,27	0,27	0,30	0,30	-0,45	-0,01	0,41
$A_y$ , мДж	0,59	-0,43	<b>0,82</b>	1,00	0,33	0,58	0,54	0,60	<b>0,85</b>	<b>-0,82</b>	0,29	0,52
$A_{3-y}$ , мДж	<b>0,88</b>	-0,68	0,74	0,33	1,00	<b>0,89</b>	<b>0,87</b>	<b>0,90</b>	-0,19	-0,67	0,51	<b>0,78</b>
$A_{п}$ , мДж	<b>0,99</b>	-0,58	<b>0,91</b>	0,58	<b>0,89</b>	1,00	<b>0,98</b>	1,00	0,09	<b>-0,88</b>	0,65	<b>0,87</b>
$A_{т}$ , мДж	<b>0,99</b>	-0,60	<b>0,86</b>	0,54	<b>0,87</b>	<b>0,98</b>	1,00	<b>0,99</b>	0,04	<b>-0,89</b>	0,51	<b>0,93</b>
$A_{р}$ , мДж	<b>0,99</b>	-0,63	<b>0,91</b>	0,60	<b>0,90</b>	<b>0,99</b>	<b>0,99</b>	1,00	0,10	<b>-0,90</b>	0,58	<b>0,90</b>
$l_{кр}$ , мм	-0,62	1,00	-0,67	-0,43	-0,68	-0,58	-0,60	-0,63	-0,16	0,70	-0,06	<b>-0,77</b>
$\sigma_p/E_1$ , %	<b>0,90</b>	-0,67	1,00	<b>0,82</b>	0,74	<b>0,91</b>	<b>0,86</b>	<b>0,91</b>	0,46	<b>-0,96</b>	0,59	<b>0,79</b>



$A_y$ , %	0,10	-0,16	0,46	<b>0,85</b>	-0,19	0,09	0,04	0,10	1,00	-0,47	0,02	0,08
$A_{3-y}$ , %	<b>-0,91</b>	0,70	<b>-0,96</b>	<b>-0,82</b>	-0,67	<b>-0,88</b>	<b>-0,89</b>	<b>-0,90</b>	-0,47	1,00	-0,43	<b>-0,89</b>
$A_{II}$ , %	0,55	-0,06	0,59	0,29	0,51	0,65	0,51	0,58	0,02	-0,43	1,00	0,23
$A_T$ , %	<b>0,92</b>	<b>-0,77</b>	<b>0,79</b>	0,52	<b>0,78</b>	<b>0,87</b>	<b>0,93</b>	<b>0,90</b>	0,08	<b>-0,89</b>	0,23	1,00
TEA, Дж/м <sup>2</sup>	1,00	-0,62	<b>0,90</b>	0,59	<b>0,88</b>	<b>0,99</b>	1,00	1,00	0,10	<b>-0,91</b>	0,55	<b>0,92</b>

Примечание. Жирным шрифтом выделены значимые коэффициенты корреляции ( $r \geq 0,75$ ).

определенной степени интегральной характеристикой механических свойств материала. С увеличением  $l_{кр}$  прочность образцов, как правило, снижается. Характеристика  $l_{кр}$  имеет также тесную корреляцию и с некоторыми характеристиками вязкоупругости  $A_p$  ( $r = -0,62$ ), соотношением  $\sigma_p/E_1$  ( $r = -0,67$ ), работой  $A_{3-y}$  ( $r = -0,68$ ), а также вкладом работы  $A_T$  ( $r = -0,77$ ). Снижение критической длины волокна приводит к возрастанию вязкоупругости материала.

Анализируя характеристики прочности материала при растяжении, такие как  $L$ ,  $P_p$  и  $\sigma_p$  (см. табл. 3, и рис. 5, в), установили, что при рН 6,0 все показатели прочности имеют самые низкие значения. При гидролизе сернокислого алюминия образуются полимерные соединения алюминия, состав которых зависит от рН среды. Установлено, что при рН 6,0 преобладает уже форма нерастворимого гидроксида алюминия, который ведет себя как инертный наполнитель [10], понижая прочность бумаги. При рН 7,0, т. е. практически без добавок химикатов, отмечены довольно высокие показатели прочности, обусловленные размолом волокна. Дальнейшее увеличение рН среды (до рН 10) приводит к росту прочности и жесткости при растяжении (рис. 5, б, в). В такой среде происходит наибольшее набухание волокон, способствующее лучшему формированию листа (об этом свидетельствуют и приведенные в табл. 3 данные о плотности образцов). Сравнивая показатели прочности при рН 5,0 и 9,0, (т. е. при тех значениях, при которых варьировали расход флокулянта и крахмала), можно отметить, что они выше в щелочной среде.

Установлено, что рН бумажной массы при отливе оказывает влияние также и на характеристики деформативности. Начальный модуль упругости (табл. 3) в щелочной среде имеет более высокие значения. Известно, что повышение однородности структуры улучшает упругие свойства материала. В данном случае при повышении плотности материала и значений  $F_{св}$  в щелочной среде возрастает величина начального модуля упругости  $E_1$  (табл. 3).

Жесткость материала при растяжении рассчитывается как произведение начального модуля упругости на толщину образца, т. е. изменение этой величины  $E\delta$  (рис. 5, б) определяется (в скрытой форме) по изменению плотности материала. Что касается жесткости при изгибе  $EI$ , то характер изменения ее в данном случае в большей степени обусловлен величиной модуля упругости при изгибе, а не моментом инерции сечения образца.

Кроме того, в табл. 3 приведены данные о величине абсорбированной энергии, поглощаемой при разрушении образца (ТЕА) и сопротивлении раздиранию (одной из характеристик трещиностойкости, которая широко используется в существующих стандартах на целлюлозно-бумажную продукцию). Показатель ТЕА имеет довольно тесную корреляцию с прочностными характеристиками, а также работой на различных участках деформирования и соотношением  $\sigma_p/E_1$  (табл. 4). Изменение ТЕА аналогично изменению прочностных характеристик. Сопротивление раздиранию, как показал эксперимент, меньше реагирует на изменения в структуре материала,

чем ТЕА, поэтому при контроле стабильности качества продукции предпочтительнее использовать последний показатель.

Из данных, приведенных в табл. 4, следует, что величина  $A_y$  имеет тесную прямую корреляцию с отношением  $\sigma_p/E_1$  и обратную с величиной относительного вклада в деформацию разрушения  $A_{3-y}$ . Величины работ, затрачиваемых на остальных этапах деформирования, положительно коррелируют друг с другом – как правило, если одна величина растет, растет и другая. Это указывает на идентичный ход кривых зависимости напряжение – деформация после достижения предела упругости и взаимосвязь процессов, происходящих при деформировании на различных стадиях. Установлено, что величина  $A_{3-y}$  обратно пропорциональна  $l_{кр}$ . Остальные составляющие  $A_p$ , затрачиваемые на определенном этапе деформирования, не коррелируют с данным показателем.  $A_y$ ,  $A_{п}$ ,  $A_{т}$ ,  $A_{в}$  и  $A_p$  имеют высокую положительную корреляцию с ТЕА. Это вполне закономерно, если учесть, что природа данных показателей и геометрия образцов одинаковы.

Рост собственной прочности волокна приводит к увеличению работы в области упругих деформаций  $A_y$  и работы  $A_{п}$  (соответственно  $r = 0,75$  и  $0,71$ ). Показатели работы, затрачиваемой на различных участках деформирования образца (кроме  $A_y$ ), положительно коррелируют с характеристикой разрывной длины  $L$ . Наиболее тесную взаимосвязь с характеристиками прочности ( $P_p$  и  $L$ ) имеют  $A_{3-y}$  и  $A_{т}$ . Можно утверждать, что с увеличением  $A_{3-y}$  растет вязкоупругость материала.

Необходимо отметить, что величины  $A_y$ ,  $A_{3-y}$ ,  $A_{п}$ , и  $A_{т}$ , а также  $A_p$  имеют высокие положительные коэффициенты корреляции с расчетной величиной  $\sigma_p/E_1$  (прочность растет с увеличением значений работы на различных этапах деформирования, а начальный модуль упругости изменяется незначительно).

Рассматривая корреляцию относительных долей различных составляющих работы разрушения с остальными характеристиками, можно отметить следующее: с характеристиками прочности доля упругой работы не имеет тесной корреляции. У характеристик прочности ( $P_p$  и  $\sigma_p$ ) и деформации разрушения выявлена отрицательная корреляция с долей  $A_{3-y}$  в общей деформации.

Рост доли  $A_{п}$  связан с ростом начального модуля упругости ( $r = 0,69$ ). Относительная доля  $A_{т}$  имеет довольно тесную корреляцию с характеристиками прочности  $P_p$  ( $r = 0,94$ ) и  $\sigma_p$  ( $r = 0,97$ ), также этот показатель хорошо коррелирует с работой разрушения  $A_p$  ( $r = 0,90$ ), сопротивлением продавливанию ( $r = 0,82$ ), межволоконными силами связи  $F_{св}$  ( $r = 0,83$ ), разрывной длиной  $L$  ( $r = 0,93$ ), начальным модулем упругости  $E_1$  ( $r = 0,71$ ) и «критической» длиной волокна  $l_{кр}$  ( $r = -0,77$ ). Это указывает на возможность повышения прочности образцов путем увеличения доли работы, затрачиваемой в области предразрушения, хотя в данной зоне деформации являются необратимыми, т. е. нагрузки при переработке или использовании наполненных видов бумаги не должны достигать величины, при которой наступает эта зона.

Анализируя величину вкладов различных составляющих в работу разрушения, можно отметить, что наибольший вклад вносят  $A_{п}$  и  $A_{т}$ , меньше величина вклада у  $A_{з-у}$ , самое низкое значение у вклада  $A_{у}$  при всех исследованных рН отлива бумажной массы.

#### Выводы

1. Изменение рН бумажной массы при отливе бумаги влияет на форму кривых зависимостей  $P - \Delta l$  и  $\sigma - \epsilon$ , определяющих вязкоупругие свойства бумаги.

2. Вязкоупругость образцов бумаги при варьировании рН бумажной массы определяется процессами, происходящими в начальный период замедленно-упругой деформации, и трещиностойкостью в области интенсивного развития трещин.

3. Максимальная вязкоупругость отмечена при рН 7,0. При данном значении рН наблюдается максимальная прочность образцов материала на растяжение, что обусловлено не упругими, а вязкоупругими свойствами материала.

4. Собственная прочность волокна  $L_0$  оказывает более сильное влияние на работу, затрачиваемую в области предразрушения  $A_{т}$ , а межволоконные силы связи  $F_{св}$  – на работу в начальной области замедленно-упругой деформации  $A_{з-у}$ .

5. При изменении рН бумажной массы в интервале от 4,5 до 10,0 минимальное значение большинства исследуемых характеристик соответствует рН 6,0; максимальное значение жесткости при растяжении и изгибе – рН 8,0, прочности при приложении растягивающей нагрузки, работы разрушения, ТЕА – рН 7,0.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов С.Н. Технология бумаги. – М.: Лесн. пром-сть, 1970. – 695 с.
2. Комаров В.И. Вязкоупругость целлюлозно-бумажных материалов // Лесн. журн. – 1997. – № 6. – С. 25–44. – (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Комаров В.И., Казаков Я. В. Анализ механического поведения целлюлозно-бумажных материалов при приложении растягивающей нагрузки // Лесн. вестник. – 2000. – № 3 (12). – С. 52–62.
4. Комаров В.И. «Критическая» длина волокна – фактор, определяющий деформативность и прочность целлюлозно-бумажных материалов // Лесн. журн. – 1993. – № 4. – С. 79–83. – (Изв. высш. учеб. заведений).
5. Комаров В.И. Механизм разрушения целлюлозно-бумажных материалов. // Лесн. журн. – 1999. – № 4. – С. 96–103. – (Изв. высш. учеб. заведений).
6. Комаров В.И.  $J$ -интеграл – характеристика структуры целлюлозно-бумажных материалов // Целлюлоза, бумага, картон. – 1997. – № 5-6. – С. 26–29.
7. Новикова Н.А. Исследование деформационных свойств бумаги для печати: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Л., 1975. – 20 с.
8. Силенко П.М. Динамика бумажного листа в транспортных системах полиграфических машин: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – М.: 1993. – 45 с.

9. Факторы, определяющие качество прохождения бумаги через печатную машину / М.А. Остреров, А.Б. Курятников, Г.И. Кудряшова и др. // Целлюлоза, бумага, картон. – 1993. – № 1. – С. 26–27.

10. *Чижов Г.И.* Влияние состава гидроксидов алюминия на их активность по отношению к целлюлозе // Бум. пром-сть. – 1985. – № 4. – С. 9–11.

11. SCAN – P77:95. Fracture toughness: Scandinavian Pulp, Paper and Board Testing Committee. – 8 p.

12. T494 om – 88. Tensile breaking properties of paper and paperboard (using constant rate of elongation apparatus): Approved by the Physical Properties Committee of the Process and Product Quality Division TAPPI. – 5 p.

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 29.01.01.

*V.I. Komarov, M.Yu. Kuznetsov*

### **Influence of pH Paper Mass on the Viscoelastic Properties of Paper for Printing**

It is found that changing of viscoelastic and standard strength properties of paper for printing with the growth of paper mass pH under casting bears aperiodic character.

---

## ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА

УДК 630\*652

***Ю. Б. Зяблов***

Зяблов Юрий Борисович родился в 1934 г., окончил в 1958 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики Поморского государственного университета. Имеет более 40 научных трудов по экономической теории и экономике лесопользования.



### **ВОПРОСЫ ТЕОРИИ ПЛАТЫ ЗА ЛЕС НА КОРНЮ**

Предложены новые модели корневой цены.

корневые цены, абсолютная рента, дифференциальная рента, факторы, нормативы затрат.

В «Лесном журнале» в № 2 за 2001 г. опубликована в порядке постановки вопроса статья Н.М. Большакова, посвященная платности лесных ресурсов. Эта проблема в настоящее время очень актуальна.

Переход России на устойчивое лесопользование и формирование лесных рынков требуют повысить роль платежей за пользование участками лесного фонда. Между тем, действующие в настоящее время корневые цены на древесину (минимальные ставки лесных податей) не отвечают указанным требованиям. Платежи за пользование лесным фондом, рассчитанные по этим ценам, в Архангельской области не обеспечивают даже простого воспроизводства лесов. Очевидно, что доходы государства за пользование лесным фондом должны быть увеличены. Но для этого необходимы научно обоснованные методические рекомендации по определению размера платы за лес на корню. Их разработка сдерживается тем, что экономическая природа корневых цен в современных условиях изучена все еще недостаточно.

Цель статьи – выяснить научную основу корневой цены, раскрыть факторы, которые ее определяют. Большинство экономистов признают, что в основе корневой цены должна быть лесная рента как плата за пользование участками лесного фонда. Но одни экономисты считают, что лесная рента

выступает только как дифференциальная, другие признают также абсолютную ренту.

Рассмотрим официальную модель корневой цены, разработанную коллективом авторов ВНИИЛМа [2]. Эти рекомендации согласованы с бывшим Рослесхозом, Министерством по налогам и сборам, Минфином. В соответствии с ними

$$T = \frac{Ц}{(1 + P : 100)} - C, \quad (1)$$

где  $T$  – корневая цена (минимальная ставка лесной подати) 1 м<sup>3</sup> древесины той или иной породы, категории качества (деловая или дровяная), крупности (для деловой древесины) при определенном расстоянии вывозки;

$Ц, C$  – соответственно цена и себестоимость (без арендной платы) 1 м<sup>3</sup> вывезенной древесины тех же категорий;

$P$  – норма рентабельности производства круглых лесоматериалов и дров, %.

Согласно формуле (1) корневая цена определяется как цена реализации круглых лесоматериалов за минусом себестоимости 1 м<sup>3</sup> вывезенной древесины. На практике положительное значение этого остатка оказалось весьма проблематичным в связи с тенденцией установления лесопереработчиками монопольно низких цен на круглые лесоматериалы и роста затрат на заготовку и вывозку древесины у лесозаготовителей.

Если величина  $T$  по формуле (1), отдельным породам и сортаментам в том или ином разряде такс окажется отрицательной, то разработчики рекомендаций предлагают (без всяких обоснований) установить ставку податей на уровне 1 % от рыночной цены соответствующих сортиментов; допускается даже бесплатный отпуск древесины на корню. В.И. Летягин и С. В. Починков считают, что в этом случае абсолютная рента равна нулю [1].

По нашему мнению, такой «остаточный принцип» образования корневых цен не дает гарантии лесовладельцу на получение денежных средств даже для лесовосстановительных работ. Необходим другой методологический подход к ценообразованию на лесных рынках. Уровень корневых цен определяется ценой не только спроса, но и предложения. В силу монополии государственной собственности на лесные ресурсы лесовладелец не отдаст бесплатно в рубку даже худший участок лесного фонда. Минимальной ценой предложения такого участка будет абсолютная рента. Ее величина не должна быть ниже затрат на лесовосстановление после рубки. Абсолютная рента взимается со всех участков лесного фонда, независимо от их качества и местоположения. Лес – это воспроизводимый ресурс, и корневая цена должна возмещать прежде всего издержки на его восстановление. Корневая цена лучших и средних по качеству и местоположению древостоев, кроме абсолютной ренты, должна включать еще и дифференциальную.

Исходя из высказанных теоретических положений мы предлагаем следующую модель корневой цены на древесину:

$$T_i = P_{ai} + P_{qi},$$

где  $T_i$  – корневая цена за обезличенный кубометр древесины на  $i$ -м участке лесного фонда;

$P_{ai}$  – абсолютная рента, р./м<sup>3</sup>;

$P_{qi}$  – дифференциальная рента на лесозаготовках, р./м<sup>3</sup>.

Абсолютная рента в виде минимальной ставки лесных податей в корневой цене за древесину определяется по формуле

$$P_{ai} = Z_i \left(1 + \frac{D}{100}\right),$$

где  $Z_i$  – нормативные издержки на лесовосстановление на  $i$ -м участке лесного фонда после рубки р./м<sup>3</sup>;

$D$  – норматив чистого дохода собственника лесных ресурсов, %.

Новизна здесь состоит в том, что размер минимальных ставок лесных податей предлагается дифференцировать в зависимости от издержек на лесовосстановление на основе следующих рентообразующих факторов: подзона тайги, тип леса, класс бонитета, почвенно-гидрологические условия при равных квалификации кадров, оборудовании, технологии. Платежи, начисленные по новым минимальным ставкам, должны поступать лесхозам и расходоваться на лесовосстановление участков лесного фонда после рубки.

Дифференциальная рента на лесозаготовках, размер рентных надбавок в корневой цене за древесину, определяется по формуле

$$P_{qi} = C_3 - C_i,$$

где  $C_3$  – нормативные издержки производства на худшем участке лесного фонда, отведенном в рубку (закрывающие затраты);

$C_i$  – то же на относительно лучшем  $i$ -м участке.

В свою очередь, нормативы затрат на лесозаготовках дифференцируются на основе следующих рентообразующих факторов: древесная порода, объем хлыста, запас на 1 га, среднее расстояние вывозки, почвенно-грунтовые условия, рельеф местности.

С помощью рентных надбавок предлагается изымать добавочный доход у всех лесозаготовительных предприятий, использующих относительно лучшие по качеству и местоположению древостои. Но дополнительный доход проявляется и у лесопереработчиков, получивших древесное сырье. Поэтому государство также должно изъять его.

Дифференциальную ренту в лесопереработке, размер рентных надбавок в корневой цене за древесное сырье мы предлагаем определять по формуле

$$T_{oi} = T_i \kappa_1 \kappa_2,$$

где  $T_{oi}$  – цена отпуска деловой древесины на корню по породам и категориям крупности, а также дровяной древесины;

$\kappa_1$  – коэффициент потребительной стоимости, который улавливает дифференциальную ренту по породе и крупности в лесопилене;



$k_2$  – коэффициент, учитывающий изменение спроса на древесное сырье между лесопильным, целлюлозно-бумажным и другими производствами на внутреннем и мировом рынках.

Введение предложенного здесь нового механизма платности за древесину на корню, который включает минимальные ставки лесных податей и рентные надбавки в корневой цене, позволит максимизировать получение государством лесной ренты и гарантировать устойчивое, неистощительное лесопользование.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Летягин В. И., Починков С.В.* Теоретические основы корневых цен на древесину // Лесн. хоз-во. – 1998. – № 6. – С. 29.
2. Методические рекомендации по расчету минимальных ставок лесных податей и ставок арендной платы при передаче участков лесного фонда в аренду (Федеральный лесной бюллетень экономико-правовой информации) // Экономика и жизнь. – М., 1994. – Вып. 5. – С. 5–70.

Поморский государственный университет

Поступила 26.02.01

*Yu.B. Zyablov*

#### **Questions of Stumpage Theory**

New models for stumpage are suggested.

---

УДК 630\*652

***Е.С. Романов***

Романов Евгений Самуилович родился в 1929 г., окончил в 1952 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор экономических наук, профессор кафедры экономики отраслей Архангельского государственного технического университета, академик РАЕН. Имеет более 140 печатных научных работ по проблемам экономической эффективности, инвестиций и производственных мощностей в лесозаготовительной промышленности.

**О РОЛИ РЕНТЫ В ПЛАТЕЖАХ ЗА ЛЕС**

Высказано мнение, что в лесозаготовительной науке и практике понятие ренты рассматривается упрощенно, смешивается с возмещением затрат на воспроизводство. Заостряется вопрос о сверхприбылях лесопереработчиков-экспертов, остающихся вне воспроизводственного процесса.

рента, возмещение затрат, сверхприбыли, изъятие ренты, экономическая рента.

1. Последние два-три года (1998–2000) характерны для лесозаготовительной науки повышением внимания к вопросам платности лесных ресурсов. Появилось довольно много публикаций, защищены диссертации (среди них выделяется докторская диссертация первого заместителя главы Республики Коми А.А. Каракчиева, 1999 г.). Есть сообщения о компьютеризированных системах расчетов, связанных с платой за лес на корню. Это работы В.И. Летягина и С.В. Починкова (Росгипролес), М.Ю. Клинова (Рослесхоз), Н.П. Чупрова и Е.Д. Антупьевой (СевНИИЛХ), А.А. Каракчиева и др.

В каждой статье или расчетной модели, естественно, есть что-то свое, более или менее оригинальное. Но все авторы спешат заверить, что они базируются на рентном подходе. При этом молчаливо предполагается, что с понятием ренты все хорошо знакомы, что теоретически неясного, спорного здесь ничего нет, и практически все рассматривают и рассчитывают ренту как остаток от цены готовой лесопродукции после вычета затрат на лесозаготовку и переработку древесины и прибыли, причитающейся лесопромышленникам и другим хозяйствующим субъектам. Различия подходов заключаются в том, ограничиваться ли стадией лесозаготовок или идти до изготовления продукции деревообработки и ЦБП, и тем, как определить затраты и прибыль этих субъектов.

Авторы, которые выступают за определение ренты на стадии лесозаготовок, предлагают устанавливать нормативы затрат и рентабельности. Дальнейшие различия подходов состоят в выявлении факторов, от которых зависят нормативы, и методов их учета. Авторы подхода, основанного на определении ренты от цены продукции переработки, лишь декларативно

заявляют об этом, либо пространно аргументируют, оперируя буквенными формулами, условными числами, но умалчивают о том, каким же образом по-настоящему, на деле, установить, подсчитать затраты переработчиков, транспортников и др. При этом сразу возникает вопрос, по каким видам лесопroduкции надо «подбираться» к ренте? Естественно, все назовут прежде всего пиловочник и балансы. Но лесосечный фонд не отводится по этому признаку, и всегда есть возможность получить другие сортименты. Расходы по переработке зависят от множества факторов, то же характерно и для транспорта, и подсчитать общественно необходимые затраты (без всякой иронии используя это понятие из политэкономии) практически не удастся при всех неограниченных возможностях современной вычислительной техники. Статистические данные, несомненно, искажены самими переработчиками. Не просто учитывать влияние мировых цен и внутренних монополизмов. Особенности этих расчетов, уровни нормативов, степень учета динамических факторов, влияющих на все элементы затрат, и другие обстоятельства не оглашаются, и потому трудно поручиться за объективность результатов, особенно с точки зрения изменчивости затрат во времени. Тем не менее эти нормативные расчеты – пока единственное, чем можно сегодня конкретно аргументировать в спорах о ренте. Нужно, чтобы модели расчетов и уровни показателей были более открытыми для дискуссии.

2. Отправным моментом большинства выступлений по вопросу о платежах за лесные ресурсы в России является их малая величина. Одни авторы, называя абсолютные значения лесных податей и арендной платы, лишь констатируют, что они малы. При этом в качестве мерила стало модным использовать, например, цены на пиво [1]. Другие отталкиваются от того, что в России доля платежей за лес на корню в себестоимости и цене  $1 \text{ м}^3$  лесопroduкции составляет всего 3 ... 5 %, тогда как в Финляндии, Швеции и др. она достигает 30 %. Наконец, есть авторы, которые, не называя никаких чисел, просто утверждают, что государство наше не добывает ренту. В самом деле, как сообщил заместитель председателя комитета природных ресурсов (бывший начальник Управления лесами) Архангельской области А. Шкурат [3], минимальные ставки платы за древесину на корню в прошлом году были всего лишь 11 р. за  $1 \text{ м}^3$  – самые низкие по России (в среднем 17 р.). Явная заниженность этих такс видна в сравнении с ценами на аукционах: в 1999 г. было продано 999 тыс.  $\text{м}^3$  по средней цене 43 р. 41 к., что вдвое выше конкретных ставок, а в 2000 г. средняя цена  $1 \text{ м}^3$  возросла до 60 р. 28 к. [7].

Все сходятся на том, что плату за лес на корню надо поднимать. Никто, однако, не провел серьезного анализа цен на лесопroduцию на всех переделах (круглый лес, пиломатериалы, целлюлоза, бумага и др.) и соответствующих показателей себестоимости. Все оперируют условными числами, хотя заведомо известно, насколько велик разброс фактических цен и себестоимости на каждый вид продукции, и не ясно, какие уровни объективны.

Тем не менее очевидно, что арендная плата и лесные подати должны быть повышены, хотя бы в меру тенденции роста цен на лесопродукцию, с одной стороны, и основных, наиболее подвижных, меняющихся элементов затрат (топливо, энергия, оплата труда, транспортные тарифы), с другой.

Арендная плата и лесные подати, если и не по суммам, то в принципе должны быть основной формой платежей по сравнению с торгами и аукционами, поскольку арендная плата напрямую связана с деятельностью целой отрасли – лесозаготовительной. Повышение арендной платы, конечно, затронет лесозаготовителей, но аргументы типа «что с них возьмешь?» [1] неосновательны. Подавляющее большинство лесозаготовительных предприятий являются акционерными обществами и должны нести бремя экономически обоснованных затрат, связанных с природопользованием. Какие-то виды «снисхождения» могут иметь место по отношению только к тем лесопромхозам, где складывается острая социальная ситуация (угроза массовой безработицы и т. п.).

3. «Большой энциклопедический словарь» [БЭС. – СПб.: Норинт, 1997. – С. 1011] дает следующее определение понятия ренты: «Рента (нем. Rente от лат. reddita – возвращенная), доход, не связанный с предпринимательской деятельностью и регулярно получаемый ратье в форме процента с предоставляемого в ссуду капитала, а землевладельцем – в форме земельной ренты со сдаваемого в аренду земельного участка». Таким образом, рента – это прежде всего доход. Далее, поскольку этот доход не связан с предпринимательской деятельностью, он, в принципе, не должен увязываться с расходами, не обязан их покрывать. Поэтому некорректно напрямую сравнивать полученную лесную ренту с расходами на лесное хозяйство, лесовосстановление. Собственник наших лесов – государство, и только в масштабах страны бесспорно требование покрытия расходов доходами. Их этого исходила и практика установления лесных такс в СССР. Отсюда вытекает необходимость и справедливость централизации лесного дохода. Как потом эти средства в виде финансовых потоков пойдут (и дойдут) «от Москвы до самых до окраин», – совсем иной вопрос, более практический, чем теоретический.

Пользуясь терминологией марксистской политэкономии, можно сказать, что лесная рента – это понятие базисное, т. е. относящееся к базису (основу которого составляют отношения собственности), а финансирование лесного хозяйства – понятие надстроечное, из области законодательства, постановлений, инструкций и т. п.

Отсюда можно сделать, по меньшей мере, вывод, что «на местах», беспокоясь о финансировании лесного хозяйства, незачем постоянно трубить о ренте: «лесная рента стучится в дверь...» [4] и т. п. Рента – это забота собственника-государства (правда, приходится добавлять: и субъектов федерации в меру их совместного владения лесами, памятуя о нечетких и спорных положениях Конституции и Лесного кодекса РФ). Всем, кто озабочен финансированием лесовосстановления и лесного хозяйства вообще, надо апеллировать не к самой ренте, а к законотворчеству о финансовых пото-

ках, где «рентный» источник можно и нужно дополнять прямыми поступлениями от присваивающих ренту лесопереработчиков, увязывая их с затратами на воспроизводство лесов.

В вопросе, из каких цен – на круглый лес или на продукцию лесопереработки – исходить при «улавливании» ренты, нужна гибкая позиция: исходить из цен на круглый лес, но просчитать варианты и по пиломатериалам, целлюлозе. Пока этого не сделал никто из тех, кто на словах утверждает, что исходить надо «из цен конечных продуктов» (даже если допустить, что для данной цели можно считать конечными продуктами пиломатериалы и целлюлозу).

4. Высокая рентабельность российских лесоэкспортеров, торгующих продукцией переработки, это прямое свидетельство присвоения ими ренты. Явно уступая аналогичным зарубежным предприятиям в техническом и организационном уровне, они наверстывают объемы лесоэкспорта за счет все еще низкой, по сравнению с Западом, зарплаты (хотя здесь им сильно мешает высокая трудоемкость) и особенно за счет заниженной платы за лес на корню (где им мешают разве что издержки лесозаготовителей-поставщиков сырья, которыми обрастает низкая корневая плата).

Практически единодушно мнение, что высокая прибыльность российских целлюлозно-бумажных предприятий-экспортеров не является прямым результатом их деятельности и, следовательно, не может полностью, безоговорочно считаться заработанной. Так, трех-, четырехкратное превышение средней зарплаты на архангельских ЦБК над зарплатой лесозаготовителей не удастся объяснить никакими инвестициями и талантами менеджеров. Ведь нигде в развитых странах нет такого вопиющего различия! Дело не столько в специфике самих отраслей, производства и менеджмента в них, сколько в формировании доходов. Образно говоря, целлюлозники не втрое – вчетверо умнее и искуснее лесозаготовителей и вдвое – деревообработчиков в работе и расходах, а вот в формировании доходов и впрямь ушли далеко вперед. Переработчики (не только ЦБП) занижают цены лесозаготовителям и «снимают сливки» с лесоэкспорта. Их избыточная прибыль очевидна. Скупые официальные данные о рентабельности ЦБП (36 % в [1] и т. п.) явно занижены. «Сюда перекачиваются миллионы от лесорубов и рентные платежи из-за диктата цен (по причине монопольного положения потребителя сырья). Вот у кого не только возможно, но и нужно изымать всю полноту ренты, присвоенной в качестве сверхприбыли... Но для этого нужна политическая воля государства», – сказано в [1].

5. Эта точка зрения получила поддержку на коллегии Минприроды РФ в декабре 2000 г. Но согласятся ли с нею наши лесопереработчики? И что значит «изымать всю полноту ренты»? Как изымать? Сколько? Вопрос разделения прибыли переработчиков (в первую очередь экспортеров) на две части (созданную ими и обусловленную рентой) наиболее важен, сложен и в то же время деликатен.

Вот аргумент корифея отечественного лесоустройства М.М. Орлова (1928): «Заводское предприятие может указать на то, что должна быть уста-

новлена самая низшая корневая цена на древесину, которая будет предоставляться заводу, так как помимо завода лес сбыть некуда. На это лесное хозяйство обязательно возразит, указав, что если лес без завода мертв, то и обратно – завод без леса не может существовать. Естественным выводом из этого является оплата древесины *в половине* доли дохода, который дает или может давать заводское предприятие» (цит. по [6, с. 17], курсив наш. – *Е.Р.*).

Поделить доход пополам – это логический, приблизительный и давний довод. Но есть аргументы более конкретные и близкие по времени. В статье с весьма выразительным для нашей темы названием «Рента и государство (проблемы реализации рентных отношений в современной России)» С. Ивановский приводит данные статистики: «... с 1930 по 1992 гг. функцию аккумуляции ... прибавочного продукта (чистого дохода) ... и передачи ее в централизованный бюджет государства выполнял налог с оборота, основным источником которого служил прибавочный продукт, создаваемый почти на 80 % в сырьевых и добывающих отраслях... Он реализовывался главным образом в отраслях перерабатывающей промышленности, где рентные доходы ресурсодобывающих отраслей ... принимали форму доходов отраслей, производящих конечную продукцию. По расчетам экономистов, в 70–80-е годы величина земельной ренты достигала в среднем около 60 % суммы налога с оборота, а всей ренты в народном хозяйстве, включая горную, – почти 80 %» [2, с. 86, с сокращением]. И далее: «Неудивительно, что отечественные экспортеры стремятся наращивать поставки на мировые рынки. Это позволяет им присваивать сверхприбыль, или значительную долю экспортной (мировой) ренты. Между тем она должна представлять наибольший интерес для государства, поскольку ее объем дает возможность сформировать в федеральном бюджете целевой фонд воспроизводства ресурсного потенциала для поддержки сырьевых отраслей» [там же, с. 90].

6. Идея образования целевого фонда государственной поддержки лесного сектора содержится в статье А.П. Петрова [5]. Он пишет, что элементами новой финансовой системы должны стать: «рентные платежи (цены леса на корню)» и «минимальные ставки платы за древесину», которые «должны определяться исключительно нормативными затратами на воспроизводство лесов, что должно создать механизм защиты интересов собственника через гарантированное поступление средств на эти цели... Разница между величиной рентных платежей (цен леса на корню) и минимальными ставками платы за древесину, будучи достаточной величиной, создаст финансовую основу для государственной поддержки развития лесного сектора на территориях (строительство новых промышленных предприятий, модернизация действующих производств, строительство лесовозных дорог и т. п.)». Здесь обращают на себя внимание термины «рентные платежи (цены леса на корню)», «минимальные ставки платы за древесину».

7. В [7] говорится, что коллегия Минприроды РФ в конце 2000 г. обсуждала вопрос «О концепции платежей за пользование участками лесного фонда». Есть сообщения, что в Госдуме подготовлен проект соответствующий

щего федерального закона. Таким образом, очевидны не только оживление интереса к проблеме платности, но и значительные усилия в теории и практике. И все же остаются настораживающие моменты. О ренте мы все еще судим как о некоем остатке от цены, который должен принадлежать собственнику, тогда как современная экономическая наука использует более широкое понятие «экономическая рента», рассматривая его как синоним экономической прибыли, обсуждает вопрос о разделе ее на долю государства и инвестора (при освоении недр) и т. д.

Платность лесных ресурсов и лесопользования – это часть большой общей проблемы платности природопользования. Похоже, что мы пока еще «не вышли из леса».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Борисов О.* Пока лес на корню по цене ... дешевого пива // Лесн. газ. – 2000 г. – 30 дек. – С. 2.
2. *Ивановский С.* Рента и государство (проблемы реализации рентных отношений в современной России) // *Вопр. экономики.* – 2000. – № 8. – С. 84–97.
3. *Кондратьев С.* Архангельский лес стал самым дешевым в России // *Правда Севера.* – 2001. – 14 мар. – С. 6.
4. *Львов Ю.* Лесная рента в дверь стучится // *Правда Севера.* – 1999. – 4 авг. – С. 8.
5. *Петров А.* Доходность лесопользования и реформа управления лесами в России // *Лесн. газ.* – 2000. – 9 сент. – С. 2.
6. *Починков С.В., Златова А.В., Шуманкова Ю.Б.* Корневые цены на древесину в Советской России в переходный период (1918-1930 гг.) // *Лесн. хоз-во.* – 2000. – № 4. – С. 15–17.
7. *Фомин А.* Доходность лесов – основа лесной политики // *Волна.* – 2001. – 6 мар. – С. 4.

Архангельский государственный  
технический университет

Поступила 29.03.01

*E.S. Romanov*

#### **Rent in Payments for Wood**

The opinion is pronounced that the notion of rent is treated in forest-economical science and practice in a simplified way and mixed with replacement of reproduction costs. The question of excess profits of wood-processors and -exporters remaining outside the reproduction process is emphasized.

---

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

УДК 630\*165:630\*174.754

*А.И. Чернодубов*

Чернодубов Алексей Иванович родился в 1946 г., окончил в 1968 г. Воронежский лесотехнический институт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесных культур и селекции Воронежской государственной лесотехнической академии, действительный член Нью-Йоркской академии наук. Имеет около 80 работ в области генетики, селекции, экологии сосны обыкновенной в островных борах юга Русской равнины.



### **НАСЛЕДОВАНИЕ ЦВЕТА СЕМЕННОЙ КОЖУРЫ ПОТОМСТВАМИ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ**

Рассмотрен характер наследования цвета семенной кожуры потомствами сосны обыкновенной в первом поколении, выращенных из семян различной цветовой гаммы.

сосна обыкновенная, кожура семян, окраска, потомство, наследование.

Многие исследователи, при изучении семян сосны обыкновенной, обращали внимание на очень большой полиморфизм по цвету семенной кожуры [1, 3–17]. Среди них особое внимание занимают работы С.З. Курдиани [6, 7], который впервые выделил четыре цветосеменные расы: черную, светлую, бурую, пятнистую. Он также предположил, что во всех почвенных условиях преобладают деревья с черными семенами. Н.П. Кобранов [3], исследуя цветосеменные расы сосны обыкновенной, пришел к выводу, что цвет семян зависит от факторов внешней среды и его невозможно использовать как признак при выделении рас сосны. С этим утверждением согласился И.Н. Лигачев [8] при изучении цвета семян сосны в Бурятии. Вместе с тем, окраска семян в пределах дерева постоянна и не зависит от возраста насаждения, что послужило причиной считать ее важным систематическим признаком [13]. Сильная вариабельность цвета семенной кожуры заставила многих исследователей определять соотношение различных по окраске семян деревьев в процентах [4, 1, 9–12]. Данные о связи цвета семян с другими признаками, а также использование их как признаков-маркеров для изучения популяционной структуры противоречивы и требуют дальнейшего изучения [9, 12–14, 16, 17].



Цель наших исследований – выявить характер наследования цвета семенной кожуры потомствами сосны обыкновенной, выращенными из контрастных по цветовой гамме семян – черных и белых (бесцветных).

Объектами исследований служили опытные культуры сосны обыкновенной, заложенные в 1967 г. преподавателем Хреновского лесхоз-техникума Д.Г. Дыниным\* в квадрате 517 Хреновского бора однолетними сеянцами, выращенными из черных и светлых семян. В 1995 г. с 10 деревьев каждой цветосеменной расы отдельно были собраны все шишки свободного опыления. С каждого дерева случайно отбирали 20 шишек, у которых измеряли длину, диаметр. Сушили их в шкафу при температуре  $t = 40 \dots 45 \text{ }^\circ\text{C}$ , подсчитывали общее число семян, число полнозернистых и пустых семян, определяли цвет (черные, коричневые, пятнистые, серые и белые). Всего изучено по 200 шт. шишек каждой расы. Данные о разнообразии цветосеменных рас представлены в таблице.

#### Разнообразие цветосеменных рас потомств сосны обыкновенной

Цвет семян, из которых выращены потомства	Фенотип (цвет семенной кожуры)										Объем выборки, шт.
	Черный		Коричневый		Пятнистый		Серый		Белый		
	$n_1$ , шт.	$p_1$	$n_2$ , шт.	$p_2$	$n_3$ , шт.	$p_3$	$n_4$ , шт.	$p_4$	$n_5$ , шт.	$p_5$	
Черный	1780	0,890	200	0,100	–	–	20	0,010	–	–	2000
Белый	840	0,420	–	–	350	0,175	130	0,065	680	0,340	2000
Итого	2620	–	200	–	350	–	150	–	680	–	4000

Примечание. Критерий Л.А. Животовского [2]  $r = 0,692$ ; критерий идентичности  $I = 141,6$ ; стандартное значение «хи-квадрат» при  $P = 0,05$  и  $f = 5 - 4 = 1$  равно 9,49;  $n$  – число семян;  $p$  – доля от объема выборки.

Из таблицы видно, что 89 % потомств, выращенных из черных семян, наследуют данный цвет семенной кожуры, 10 % имеют переходную окраску семенной кожуры – коричневую. Только на одном дереве были обнаружены шишки с серыми семенами. Все эти факты говорят о том, что в первом поколении  $F_1$  при свободном опылении доминируют деревья с черными семенами. У деревьев, выращенных из белых семян, вероятно, происходит кодоминирование признака в  $F_1$ , т. е. участие обоих аллелей в определении цвета семенной чешуи. В результате 42 % потомств имеют черные семена, 34 % – светлые (белые), 24 % – переходные (пятнистые и серые).

Изучение цвета семян в аутохтонных насаждениях [5, 8, 9, 13, 16, 17], географических культурах [15] различными методами позволило выявить, что цветовая гамма семян встречается во всех частях ареала сосны обыкновенной, однако соотношение их различное. Черные семена встреча-

\* Выражаем глубокую благодарность и признательность Д. Г. Дынину за оказанное содействие.

ются во всех популяциях сосны в различных пропорциях с семенами других цветов. Светлая окраска семян преобладает в более сухих и континентальных условиях произрастания [15]. Вместе с тем была высказана гипотеза [9] о том, что окраска кожуры не подчиняется закону природно-географической зональности, а является следствием генетико-автоматических процессов.

Проведенные нами исследования показали различные пути наследования цвета семенной кожуры в потомстве сосны обыкновенной, что позволяет более целенаправленно вести поиск признаков – маркеров для изучения популяционной структуры насаждений, связи их с хозяйственно-ценными признаками для использования в селекционном процессе.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Азиев Ю.Н.* Плодоношение сосны обыкновенной в Белоруссии // Лесная генетика, селекция и семеноводство. – Петрозаводск: Карелия, 1970. – С. 406–410.
2. *Животовский Л.А.* Популяционная биометрия. – М.: Наука, 1991. – 271 с.
3. *Кобранов Н.П.* О цветосеменных расах сосны обыкновенной // Лесопромышленный вестник. – 1914. – № 28. – С. 16–19.
4. *Козубов Г.М.* Плодоношение хвойных на Севере. – Л.: Наука, 1974. – 136 с.
5. *Кузьмина Н.А.* Изменчивость генеративных органов сосны обыкновенной в Приангарье // Селекция хвойных пород в Сибири. – Красноярск: ИЛиД СО АН СССР, 1978. – С. 96–120.
6. *Курдиани С.З.* Деление *Pinus sylvestris* L. на расы // Лесопромышленный вестник. – 1908. – № 26. – С. 237–240.
7. *Курдиани С.З.* Из биологии лесных пород. – Тифлис: Изд-во Тифлисского ЛТИ, 1932. – 126 с.
8. *Лигачев И.Н.* Изменчивость морфологических признаков и биоэкологических свойств сосны обыкновенной в Бурятской АССР // Леса и лесное х-во Бурятской АССР. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – С. 189–222.
9. *Мамаев С.А.* Формы внутривидовой изменчивости древесных растений. – М.: Наука, 1979. – 284 с.
10. *Марченко А.Т.* Семеношение сосновых насаждений // Тр. и лесн. опыт. делу в России. – 1912. – Вып. 38. – С. 25–32.
11. *Некрасова Т.П.* Плодоношение сосны в Западной Сибири. – Новосибирск: Изд-во АН СССР, 1960. – 130 с.
12. *Петров С.А.* Сосна островных боров Северного Казахстана // Бот. журн. – 1961. – Т. 46, № 12. – С. 1811–1814.
13. *Правдин Л.Ф.* Сосна обыкновенная. – М.: Наука, 1964. – 191 с.
14. *Пугач Е.А.* Цветосеменные формы у сосны обыкновенной // Генетика, селекция, семеноводство и интродукция древесных пород. – Воронеж: ЦНИИЛГиС, 1976. – Вып. 3. – С. 30–34.
15. *Черепнин В.Л.* Изменчивость семян сосны обыкновенной. – Новосибирск: Наука, 1980. – 183 с.
16. *Чернодубов А.И.* Изменчивость морфолого-анатомических признаков сосны обыкновенной в островных борах юга Русской равнины // Лесоведение. – 1994. – № 2. – С. 28–35.

---

17. Чернодубов А.И. Внутривидовая изменчивость и популяционная структура *Pinus sylvestris* L. в островных борах Восточно-Европейской равнины: Автореф. дис. ... д. с.-х. н. – СПбЛТА, 1996. – 46 с.

Воронежская государственная  
лесотехническая академия

*A.I. Chernodubov*

### **Inheritance of Seed Paring Color by the Scots Pine Breed**

The inheritance character of the seed paring color is considered for the Scots pine breed in the first generation grown out of different color gamut seeds.

---

УДК 630\*443.3

И.И. МИНКЕВИЧ

**ОБ ОТРИЦАТЕЛЬНОМ ЭФФЕКТЕ  
КАРАНТИННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ  
НА ПРИМЕРЕ МАССОВЫХ БОЛЕЗНЕЙ  
ДРЕВЕСНЫХ ПОРОД**

Приведены данные о массовом поражении грибными болезнями, главным образом, интродуцированных пород; показана опасность, которая возникает при длительном отсутствии контакта популяции растений с потенциально опасными патогенами; высказывается мысль об отборе устойчивых форм при интродукции и завозе патогена в новые регионы.

интродуцированные породы, грибные болезни, карантин, отрицательный эффект, отбор устойчивых форм, завоз патогена.

Известно, что интродуцированные растения в течение некоторого периода выгодно отличаются от аборигенных видов своим относительным здоровьем. Они не болеют, пока возбудители их основных заболеваний отсутствуют в районе интродукции, причем этот промежуток времени может быть более или менее продолжительным, в том числе и благодаря строгим карантинным мероприятиям. Однако, как считает Э. Гойман, патогены идут следом за своими хозяевами и рано или поздно вторгаются в новые области их возделывания, и вопрос сводится лишь к тому «... сколько времени потребуется паразиту, чтобы догнать своего хозяина<sup>1</sup>». При этом, чем длительнее срок с момента интродукции древесной породы до его

новой встречи с возбудителем болезни, который на родине являлся для него обычным, тем опустошительнее бывают эпифитотии.

Примеры таких болезней приведены в таблице, где исключение составляет пузырчатая ржавчина пятихвойных сосен, поразившая веймутову сосну у нее на родине. Но надо иметь в виду, что этот вид стал культивироваться на больших площадях после вырубki лесов еще в период колонизации Северной Америки европейцами, а разрыв ареалов хозяина и патогена обусловлен длительным процессом развития материковой суши Земли. Расселение древесной породы в данном случае следует рассматривать как естественную вторичную интродукцию.

Что же происходит за этот период времени, когда хозяин не встречается обычного на его родине возбудителя болезни? Длительное отсутствие совместного развития патогена и хозяина приводит к формированию популяции последнего, состоящей из особей, лишенных иммунитета к соответ-

---

<sup>1</sup> Гайман Э. Инфекционные болезни растений. – М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1954. – 608 с.

вующему возбудителю болезни. В случае проникновения возбудителя в такой фитоценоз последствия бывают катастрофическими для биологических объектов, так и для экономики сельскохозяйственных и лесных отраслей. Для стабилизации обстановки требуется время, продолжительность которого зависит от характера болезни. Следует отметить, что на пути продвижения патогенов обычно стоит ряд карантинных мероприятий, однако появление возбудителей болезней в местах интродукции древесных пород практически неизбежно. Э. Гойман отмечает, что это время ограничено жизнью одного поколения людей, хотя для некоторых заболеваний растений этот срок бывает гораздо более продолжительным.

Какой выход можно предложить с учетом исторического опыта? По нашему мнению следует коренным образом пересмотреть положения о карантине фитопатогенных объектов, особенно в отношении патогенов древесных пород как многолетних растений, искусственная селекция которых занимает длительный промежуток времени. Следует не препятствовать, а, наоборот, завозить в новые районы расселения древесных пород их основных патогенов для того, чтобы создавать условия естественного отбора устойчивых форм растений. Возможно, что при этом и будут иметь место определенные экономические издержки, но зато будет предупреждена опасность массового поражения интродуцентов на территории новых для них регионов в будущем. Списки интродуцируемых вместе со своими хозяевами возбудителей болезней должны быть составлены на основе предварительных флористических и фитопатологических обследований и включать в себя облигатных паразитов-грибов (пероноспорные, мучнисторосяные, ржавчинные), бактерий, а возможно, и вирусов, для которых экологические условия в районах интродукции могут быть благоприятными или есть потенциальные переносчики инфекции или промежуточные хозяева. Одновременно с этим для интродукции следует отбирать устойчивые формы из популяции растений, особенно, при их вегетативном размножении. Признаки, по которым проводят отбор, должны быть установлены на основании визуального наблюдения и данных лабораторных исследований. Результаты обследования должны прилагаться к партии вывозимого материала. Заниматься такой работой должны ботанические сады научных учреждений, карантинные питомники, а наблюдением за распространением новых для данного района патогенов – станции защиты растений, лесопатологи и специалисты на местах.

С.-Петербургская лесотехническая академия

Название болезни	Возбудитель	Регион произрастания	Происхождение		Дата		Вредоносность болезни
			растения-хозяина	патогена	интродукции хозяина	проникновения патогена	
Голландская (датская) болезнь ильмовых пород	<i>Ceratocystis ulmi</i>	Европа	Восточная Азия	Восточная Азия	XV в.	20-е годы XX в.	В Бельгии усохло 60 % деревьев; в Голландии – 30 % за 10 лет, в Москве 67 % и т.д.
Рак каштана	<i>Endothia parasitica</i>	Северная Америка	Среднеземноморье, Восточная Азия	Среднеземноморье, Восточная Азия	?	1904 г.	За 30 лет каштан исчез из лесов Северной Америки
Коккомикоз косточковых пород	<i>Coccomyces hiemalis</i>	Страны Прибалтики	?	Швеция	?	1963 г.	Массовое опадение листвы и гибель деревьев вишни
Ржавчина кофе	<i>Hemileia vastatrix</i>	о. Цейлон	Эфиопия	Эфиопия	Начало XIX в.	1868 г.	В 1890 г. прекратился экспорт кофе из Цейлона
Швейцарское шютте дугласовой сосны	<i>Phaeoglyphus gauthmanni</i>	Европа	Северная Америка	Северная Америка	XIX в.	1927 г.	Прекращено культивирование дугласовой сосны
Шотландское шютте дугласовой сосны	<i>Rhodocone pseudotsugae</i>	Европа	»	»	»	1914 г.	Сильное поражение хвои
Пузырчатая ржавчина пятихвойных сосен	<i>Cronartium ribicola</i>	Северная Америка	Абориген	Сибирь	?	1909 г.	В 1967 г. погибло 1,2 млн деревьев веймутовой сосны
Бактериальный рак цитрусовых	<i>Xanthomonas citri</i>	»	Восточная Азия, Австралия	Восточная Азия	?	Около 1914 г.	Ущерб составил 12...24 млн долларов



*I.I. Minkevich*

**On Negative Effect of Quarantine Measures Based on the Example of Mass Diseases of Tree Species**

Data on mass infestation by fungi diseases are given primarily for introduced species. The danger is demonstrated caused by the long absence of the contact of plant population with potentially dangerous pathogens. The opinion is expressed on selecting the stable forms when introducing plants and bringing pathogen to the new regions.

---



## КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

УДК 630\*15(049.3)

**Ю.Ф. Арефьев****КНИГА О ДИКИХ СВИНЬЯХ\***

Рецензируемая книга заинтересует тех, кто воспринимает охоту как прикладную биологию, умеет ценить радость познания целого больше, чем его частей. В этой книге – все о диких свиньях (кабанах) или «черной дичи», как называют их в Германии.

Еще в детские годы Л. Бридерман впервые увидел дикого кабана в лесу и был очарован этим самобытным, мощным, а иногда и стремительным животным. Всю свою последующую жизнь он посвятил всестороннему изучению дикого кабана, обитающего как в природных условиях, так и в неволе. Но на первом месте всегда был экологический аспект.

Основные главы книги: систематика и история происхождения, распространение, строение тела и общие жизненные функции, центральная нервная система, восприятие и коммуникация, питание, размножение и развитие, опасность, враги и болезни, индивидуумы и популяции, основы ведения хозяйства, состав популяции и планирование отстрела, учет запаса популяции, охота, трофеи, предотвращение ущерба полям, подкормка, улучшение биотопов, ловля и содержание. Как видно, главы очень разнообразны по содержанию, но все они подчинены одной цели – оптимизации ведения охотничьего хозяйства, разумного и экологически обоснованного.

Книга содержит большое число прекрасных фотографий, в том числе цветных. Рекомендуется экологам и натуралистам, охотоведам и охотникам, научным работникам, преподавателям биологии и студентам, работникам лесного хозяйства.

Воронежская государственная  
лесотехническая академия

---

\* *Briedermann L. Schwarzwild.* – Berlin: Deutscher Landwirtschaftsverlag, 1990. – 540 S.

## ЮБИЛЕИ

УДК 06.091

## МИХАИЛ ДМИТРИЕВИЧ МЕРЗЛЕНКО

11 апреля 2001 г. исполнилось 55 лет со дня рождения и 35 лет лесоводственной деятельности М.Д. Мерзленко – доктора сельскохозяйственных наук, профессора Московского государственного университета леса, член-корреспондента Международной Славянской академии.

Трудовую деятельность в области лесного хозяйства он начал рабочим в 7-й лесоустроительной экспедиции и лаборантом НИС МЛТИ. Занятия же на научном поприще относятся к еще более раннему периоду – времени пребывания в кружке юных биологов при Московском зоопарке. Именно к тому времени (1960–1964 гг.) приурочены его первые научные исследования на базе Московского зоопарка, в лесах Московской и Владимирской областей, а также в экспедиции в знаменитую Беловежскую пущу. С 1969 г. по 1983 г. его деятельность была тесно связана с Всесоюзным государственным проектно-исследовательским институтом «Союзгипролесхоз», где он прошел трудовой путь от инженера до начальника экспедиции.

Являясь по своей натуре прирожденным натуралистом-исследователем, М.Д. Мерзленко, работая в поле (в экспедициях), не только закрепил выбор своего жизненного пути, но и сформировал оригинальные взгляды на природу леса и принципы ведения лесного хозяйства, в частности искусственного лесовосстановления. Еще в кандидатской диссертации (1974 г.) он обосновал целесообразность выращивания сосны на исконно богатых суглинистых, или «еловых», почвах; доказал, что введение сосны отвечает ее аутоэкологическим особенностям и способствует созданию высокопродуктивных насаждений в пределах Русской равнины.

О широте научных интересов М.Д. Мерзленко свидетельствует большое число опубликованных работ по различным вопросам лесной науки и биологии. Его работы издавались на Украине, Белоруссии, Словакии, Чехии. Общее число публикаций превышает 200, в их числе 5 книг и 6 учебных пособий. В пределах Клинско-Дмитровской гряды он создал опытные культуры ели разной густоты (от 2 до 20 тыс. экз. на 1 га) и географические посевы и посадки ели, насчитывающие несколько сотен провениенций из евроазиатского ареала рода *Picea*. Наряду с практическими и методологическими задачами лесокультурного дела, ученый разрабатывал многообразные теоретические направления: теоретические основы общей системы лесокультурного процесса, синэкологические вопросы лесных культур, теория жизненного цикла искусственных насаждений и др. Так, для фиксации характера синэкологических условий существования древесных сообществ он разработал показатель степени напряженности (1979 г.) и условный параметр питания (1986 г.), имеющие не только теоретическое, но и прикладное значение в ходе выращивания насаждений путем рубок ухода. К заслугам М.Д. Мерзленко следует отнести решение проблемы целевой оптимизации густоты посадки культур ели (1991 г.).

Михаил Дмитриевич известен и как историк лесной науки, всегда находивший твердую поддержку и ценные советы со стороны академика ВАСХНИЛ И.С. Мелехова, вместе с которым с 1977 г. по 1994 г. возглавлял Комиссию по истории лесоводства при Московском обществе испытателей природы. В настоящее время он завершил работу над книгой по истории лесных дач Центральной России.

В 1999 г. совместно с Г.И. Редько, Н.А. Бабичем и И.В. Трещевским им опубликовано капитальное учебное пособие (42,5 печ. л.) по лесным культурам. М.Д. Мерзленко постоянно проявляет себя как высококвалифицированный педагог, умело сочетающий учебную, методическую и воспитательную деятельность с научным поиском.

Желаем ему, ветерану труда, дальнейших творческих успехов и долгих лет плодотворной и кипучей жизни.

**Московский государственный университет леса  
Международная Славянская академия  
Московское общество испытателей природы**

УДК 06.091

## 70 ЛЕТ НА ПЕРЕДОВЫХ РУБЕЖАХ НАУКИ

Северный научно-исследовательский институт промышленности (СевНИИП) – старейший отраслевой НИИ на Северо-Западе России – торжественно отметил свой юбилей.

История института ведет свое начало с 1931 г., когда постановлением правления Союзлеспрома ВСНХ СССР (№ 152 от 9 мая) в Архангельске был образован Северный научно-исследовательский лесопромышленный институт. В 1933 г. он был преобразован в Северный научно-исследовательский институт электрификации лесной промышленности. В 1948 г. Совет Министров СССР принял решение об организации Северного филиала Центрального НИИ механизации и энергетики лесозаготовок, который в 1957 г. был переименован в СевНИИП. В этот период институт осуществлял научное обеспечение лесозаготовительной, рыбной, водорослевой, целлюлозно-бумажной, гидролизной, лесохимической отраслей промышленности, строительства и промышленности строительных материалов. В 1962 г. отделение рыбной и водорослевой промышленности института вошло в состав Северного отделения Полярного института морского рыбного хозяйства и океанографии.

Непосредственно в институте работали лаборатории: оборудования нижних складов и лесных бирж (руководитель И.Н. Головин), где создавалось оборудование для комплексной переработки сырья на лесных складах, технологические линии нижнего склада с применением высокопроизводительных многоопильных агрегатов; экономики, организации и технологии лесозаготовительного производства (под руководством С.А. Муравицкого), занимавшаяся исследованием и оценкой различных способов погрузки древесины на лесовозный транспорт, отработкой ресурсосберегающих и природоохранных технологий, и другие лаборатории. С 1963 г., после упразднения отделения строительства и стройматериалов, институт проводил научные исследования в области лесозаготовок и транспорта леса, в частности разработки лесосек узкими пасаками с трелевкой хлыстов.

В 1968 г. в Онежском ЛПХ внедрено ленточное покрытие ЛД-5 для строительства временных лесовозных дорог, в Маймаксанском лесном порту смонтирована многоопильная установка триплерного типа ЛБП-1, предназначенная для выработки экспортных балансов и пропсов. В 1984 г. утверждена специализация НИИ Минлесбумпрома СССР, по которой СевНИИП стал ведущей организацией по проблеме строительства и содержания УЖД и зимних лесовозных дорог.

На протяжении всей истории института усилия ученых были направлены на развитие лесопромышленной отрасли северо-западного региона. Накоплен огромный опыт в решении задач заготовки, транспортировки и переработки древесины. Образцы машин, изготовленные в экспериментальных мастерских, испытывались на полигонах СевНИИПа и поступали в серийное производство. Созданные специально для северных условий они показали надежность в работе и высокую конкурентоспособность.

По результатам научных разработок оформлено 15 тыс. описаний, изобретений, патентов, около 3 тыс. стандартов и нормативных документов, только за последние годы сделано более 70 публикаций. За 1965–2000 гг. институтом сдано в серийное производство более 90 образцов машин и механизмов.

В настоящее время (с 1993 г.) СевНИИП является акционерным обществом открытого типа. Не имея централизованного финансирования, институт работает по прямым договорам с предприятиями различных отраслей промышленности. В лабораториях института продолжается напряженная работа по проектированию и созданию новой техники и ресурсосберегающих технологий. Среди разработок следует отметить создание и внедрение в производство навесного оборудования харвестерного агрегата, многофункциональной установки

---

высокой заводской готовности, автоматизированного сортировочного устройства для сортировки бревен по диаметрам. Эта техника применяется в ЛПХ и на ЛДК. СевНИИП тесно сотрудничает с Архангельским государственным техническим университетом, который принимает активное участие в современных научных разработках и проектах. Это свидетельствует о продолжении и дальнейшем развитии сложившихся традиций.

Коллектив института умело преодолевает трудности рыночной экономики, находит нестандартные решения, что служит гарантией успеха в наступившем XXI веке.

**А.В. Ильин, А.И. Акулов**

СевНИИП

---