

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

---

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

ИЗВЕСТИЯ  
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

---

# Лесной журнал

**Научный журнал**

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

6/348

2015

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

## **РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:**

**МЕЛЕХОВ В.И.** – гл. редактор, д-р техн. наук, проф. (Россия, Архангельск)  
**БАБИЧ Н.А.** – зам. гл. редактора, д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Архангельск)  
**БОГОЛИЦЫН К.Г.** – зам. гл. редактора, д-р хим. наук, проф. (Россия, Архангельск)  
**КОМАРОВА А.М.** – отв. секретарь, канд. с.-х. наук (Россия, Архангельск)

## **ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:**

**Бессчетнов В.П.**, д-р биол. наук, проф. (Россия, Нижний Новгород)  
**Богданович Н.И.**, д-р техн. наук, проф. (Россия, Архангельск)  
**Ван Хайнинген А.**, д-р наук, проф. (США, Ороно)  
**Воронин А.В.**, д-р техн. наук, проф. (Россия, Петрозаводск)  
**Камусин А.А.**, д-р техн. наук, проф. (Россия, Москва)  
**Кищенко И.Т.**, д-р биол. наук, проф. (Россия, Петрозаводск)  
**Кожухов Н.И.**, д-р экон. наук, проф., академик РАН (Россия, Москва)  
**Куров В.С.**, д-р техн. наук, проф. (Россия, Санкт-Петербург)  
**Малыгин В.И.**, д-р техн. наук, проф. (Россия, Северодвинск)  
**Матвеева Р.Н.**, д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Красноярск)  
**Мерзленко М.Д.**, д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Москва)  
**Нимц П.**, д-р наук, проф. (Швейцария, Цюрих)  
**Обливин А.Н.**, д-р техн. наук, проф. (Россия, Москва)  
**Онегин В.И.**, д-р техн. наук, проф. (Россия, Санкт-Петербург)  
**Памфилов Е.А.**, д-р техн. наук, проф. (Россия, Брянск)  
**Романов Е.М.**, д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Йошкар-Ола)  
**Сакса Т.**, д-р с.-х. наук, ст. науч. сотр. (Финляндия, Хельсинки)  
**Санаев В.Г.**, д-р техн. наук, проф. (Россия, Москва)  
**Селиховкин А.В.**, д-р биол. наук, проф. (Россия, Санкт-Петербург)  
**Сергеевичев В.В.**, д-р техн. наук, проф. (Россия, Санкт-Петербург)  
**Сёренсен У.Я.**, проф. (Норвегия, Стейнхьер)  
**Сигурдссон Б.Д.**, д-р наук, проф. (Исландия, Хваннейри)  
**Тараканов А.М.**, д-р с.-х. наук, гл. науч. сотр. (Россия, Архангельск)  
**Хакимова Ф.Х.**, д-р техн. наук, проф. (Россия, Пермь)  
**Холуша О.**, д-р наук, проф. (Чехия, Брно)  
**Черная Н.В.**, д-р техн. наук, проф. (Белоруссия, Минск)  
**Черных В.Л.**, д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Йошкар-Ола)  
**Ширнин Ю.А.**, д-р техн. наук, проф. (Россия, Йошкар-Ола)  
**Штукин С.С.**, д-р с.-х. наук, проф. (Белоруссия, Минск)  
**Энгельманн Х.-Д.**, д-р инж. наук, проф. (Германия, Эмден)

## **ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА:**

**Бабич Н.А.** – председатель, д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Архангельск)  
**Билей П.В.**, д-р техн. наук, проф., акад. ЛАН Украины (Украина, Львов)  
**Залесов С.В.**, д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Екатеринбург)  
**Мясищев Д.Г.**, д-р техн. наук, проф. (Россия, Архангельск)  
**Наквасина Е.Н.**, д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Архангельск)  
**Хабаров Ю.Г.**, д-р хим. наук, проф. (Россия, Архангельск)

---

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF THE RUSSIAN FEDERATION

---

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

BULLETIN  
OF HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTIONS

---

# Lesnoy Zhurnal

(Forestry journal)

**Scientific journal**

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

6/348

2015

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

### **EDITORIAL STAFF:**

**MELEKHOV V.I.** – Editor-in-Chief, Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Arkhangelsk)  
**BABICH N.A.** – Deputy Editor-in-Chief, Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Arkhangelsk)  
**BOGOLITSYN K.G.** – Deputy Editor-in-Chief, Doctor of Chemistry, Prof. (Russia, Arkhangelsk)  
**KOMAROVA A.M.** – Executive Secretary, Candidate of Agriculture (Russia, Arkhangelsk)

### **MEMBERS OF THE EDITORIAL STAFF:**

**Besschetnov V.P.**, Doctor of Biology, Prof. (Russia, Nizhny Novgorod)  
**Bogdanovich N.I.** Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Arkhangelsk)  
**Van Heiningen A.**, PhD, Prof. (USA, Orono)  
**Voronin A.V.**, Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Petrozavodsk)  
**Kamusin A.A.**, Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Moscow)  
**Kishchenko I.T.**, Doctor of Biology, Prof. (Russia, Petrozavodsk)  
**Kozhukhov N.I.**, Doctor of Economics, Prof., Member of the Russian Academy of Sciences (Russia, Moscow)  
**Kurov V.S.**, Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Saint-Petersburg)  
**Malygin V.I.**, Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Severodvinsk)  
**Matveeva R.N.**, Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Krasnoyarsk)  
**Merzlenko M.D.**, Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Moscow)  
**Niemz P.**, PhD, Prof. (Switzerland, Zürich)  
**Oblivin A.N.**, Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Moscow)  
**Onegin V.I.**, Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Saint-Petersburg)  
**Pamfilov E.A.**, Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Bryansk)  
**Romanov E.M.**, Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Yoshkar-Ola)  
**Saksa T.**, Doctor of Agriculture, Senior Researcher (Finland, Helsinki)  
**Sanaev V.G.**, Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Moscow)  
**Selikhovkin A.V.**, Doctor of Biology, Prof. (Russia, Saint-Petersburg)  
**Sergeevichev V.V.**, Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Saint-Petersburg)  
**Sørensen O.J.**, PhD, Prof. (Norway, Steinkjer)  
**Sigurðsson B.D.**, PhD, Prof. (Iceland, Hvanneyri)  
**Tarakanov A.M.**, Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Arkhangelsk)  
**Khakimova F.Kh.**, Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Perm)  
**Holuša O.**, PhD, Prof. (Czech Republic, Brno)  
**Chernaya N.V.**, Doctor of Engineering, Prof. (Belarus, Minsk)  
**Chernykh V.L.**, Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Yoshkar-Ola)  
**Shirnin Yu.A.**, Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Yoshkar-Ola)  
**Shtukin S.S.**, Doctor of Agriculture, Prof. (Belarus, Minsk)  
**Engelmann H.-D.**, Doctor of Engineering, Prof. (Germany, Emden)

### **MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:**

**Babich N.A.** – Chairman, Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Arkhangelsk)  
**Biley P.V.**, Doctor of Engineering, Prof., Member of the National Academy of Sciences of Ukraine (Ukraine, Lviv)  
**Zalesov S.V.**, Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Yekaterinburg)  
**Myasishchev D.G.**, Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Arkhangelsk)  
**Nakvasina E.N.**, Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Arkhangelsk)  
**Khabarov Yu.G.**, Doctor of Chemistry, Prof. (Russia, Arkhangelsk)

---





СОДЕРЖАНИЕ

*ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО*

<i>Н.А. Моисеев.</i> Лесная экономика в системе лесоправления в теории и на практике	9
<i>А.И. Бондарев, А.А. Онучин, В.В. Читоркин, В.А. Соколов.</i> О концептуальных положениях интенсификации использования и воспроизводства лесов в Сибири.....	25
<i>Е.А. Бабушкина, Л.В. Белокопытова.</i> Камбиальная зона – основная мишень влияния внешних факторов на формирование годичных колец хвойных.....	35
<i>А.И. Соколов, В.А. Харитонов, А.Н. Пеккоев, Т.И. Кривенко.</i> Сохранность и рост культур сосны, созданных посадочным материалом с закрытой корневой системой в условиях Карелии.....	46
<i>В.Ф. Ковязин, Т.Л. Нгуен, Ч.Х. Фан.</i> К методике исследования городских насаждений.....	57
<i>А.С. Ильинцев, С.В. Третьяков, С.В. Коптев, И.В. Федотов, Р.А. Еришов.</i> Текущий прирост по диаметру в насаждениях, пройденных рубками ухода прореживанием.....	66
<i>И.Н. Кульбанская.</i> Патогенез туберкулеза ясеня обыкновенного в условиях Западного Подолья Украины.....	75

*МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ  
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ*

<i>Е.С. Шарапов, А.С. Торопов, А.С. Королев.</i> Исследование влияния процесса термической модификации древесины на измерение предела прочности и модуля упругости при статическом изгибе.....	85
<i>С.А. Черепанов, Д.А. Лужанский, Г.Ф. Прокофьев.</i> Исследование уровня вибраций и качества обработанной поверхности при высокоскоростном фрезеровании древесины.....	96
<i>М.А. Хвизозов, А.Н. Галашев, И.И. Соловьев.</i> Компенсация методической погрешности при ИК-контроле нагрева круглых пил.....	107
<i>В.И. Онегин.</i> Свойства древесины, учитываемые при формировании защитно-декоративных покрытий древесины и древесных материалов.....	116
<i>Д.К. Арленинов, Д.А. Беккер.</i> Влияние уровня напряжений на ползучесть древесины при изгибе.....	128

*ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ*

<i>М.И. Кравченко.</i> Изучение процесса промывки сульфитной целлюлозы в промышленных условиях.....	138
---	-----

*А.А. Комиссаренков, Р.А. Копнина, А.А. Поздняков.* Адсорбция технических лигносульфонатов на образцах гидратированного оксида алюминия..... 146

*ЮБИЛЕИ*

*А.Н. Чубинский, В.И. Мелехов, А.Г. Черных, Р.В. Дерягин.* От студента до президента..... 157

*А.С. Новоселов, В.С. Вернодубенко, А.С. Пестовский.* К 70-летию профессора Н.А. Дружинина..... 160

*Н.А. Бабич, В.И. Мелехов, И.В. Евдокимов.* Жизнь, посвященная лесному делу... 162

*ПАМЯТИ УЧЕНЫХ*

*В.Г. Санаев, А.Н. Обливин, Г.А. Горбачева.* Памяти Бориса Наумовича Уголева... 164

*Н.А. Бабич, С.А. Корчагов.* Памяти Михаила Владимировича Рубцова..... 168

Указатель статей, помещенных в «Лесном журнале» в 2015 г. .... 170

---

---



CONTENTS

*FORESTRY*

<i>N.A. Moiseev.</i> Forest Economy in the Forest Management in Theory and in Practice...	9
<i>A.I. Bondarev, A.A. Onuchin, V.V. Chitorkin, V.A. Sokolov.</i> Conceptual Approach to the of Intensification of Forests Use and Re-Forestation in Siberia.....	25
<i>E.A. Babushkina, L.V. Belokopytova.</i> Cambial Zone is the Main Target of External Factors Influence on the Conifers Tree-Ring Formation.....	35
<i>A.I. Sokolov, V.A. Kharitonov, A.N. Pekkoev, T.I. Krivenko.</i> Preservation and Growth of Pine Cultivated by Ball-Rooted Planting Stock in Karelia.....	46
<i>V.F. Kovyazin, T.L. Nguen, Ch.H. Fan.</i> On a Research Methodology of Urban Stands	57
<i>A.S. Il'intsev, S.V. Tret'yakov, S.V. Koptev, I.V. Fedotov, R.A. Ershov.</i> The Current Radial Increment in the Forest Stands After the Improvement Thinning.....	66
<i>I.N. Kul'banskaya.</i> European Ash ( <i>Fraxinus excelsior</i> ) Pathogenesis of Tuberculosis in Terms of Western Podolia of Ukraine.....	75

*MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOOD SCIENCE*

<i>E.S. Sharapov, A.S. Toropov, A.S. Korolev.</i> Effect of Thermal Modification of Wood on Strength and Elasticity Modulus at Static Bending.....	85
<i>S.A. Cherepanov, D.A. Luzhanskiy, G.F. Prokofev.</i> Research of the Vibration Level and Surface Quality at High-Speed Moulding.....	96
<i>M.A. Khviyuzov, A.N. Galashev, I.I. Soloviev.</i> Compensation of Method Error in the Infrared Heating Control of Circular Saws.....	107
<i>V.I. Onegin.</i> Important Wood Properties for Formation of Protective and Decorative Coatings of Wood and Forest Products.....	116
<i>D.K. Arleninov, D.A. Bekker.</i> Effects of Stress Level on Wood Creep under Bending...	128

*CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD*

<i>M.I. Kravchenko.</i> Study of Sulfite Pulp Washing Process under Industrial Conditions	138
<i>A.A. Komissarenkov, R.A. Kopnina, A.A. Pozdnyakov.</i> Technical Lignosulfonates Adsorption on Hydrated Aluminum Oxide Samples.....	146

*JUBILEES*

<i>A.N. Chubinskiy, V.I. Melekhov, A.G. Chernykh, R.V. Deryagin.</i> From a Student to the President.....	157
<i>A.S. Novoselov, V.S. Vernodubenko, A.S. Pestovskiy.</i> To the 70th anniversary of the birth of Professor N.A. Druzhinin.....	160
<i>N.A. Babich, V.I. Melekhov, I.V. Evdokimov.</i> Life Devoted to the Forest Science.....	162

*TO THE MEMORY OF SPECIALISTS*

<i>V.G. Sanaev, A.N. Oblivion, G.A. Gorbacheva. In Memory of Boris Naumovich Ugolev.....</i>	164
<i>N.A. Babich, S.A. Korchagov. In Memory of Mikhail Vladimirovich Rubtsov.....</i>	168
<i>Index of Articles Issued by «Lesnoi Zhurnal» in 2015.....</i>	170

---

---



УДК 630\*6

## ЛЕСНАЯ ЭКОНОМИКА В СИСТЕМЕ ЛЕСОУПРАВЛЕНИЯ В ТЕОРИИ И НА ПРАКТИКЕ

© *Н.А. Моисеев, акад. РАН*

Московский государственный университет леса, ул. 1-я Институтская, 1, г. Мытищи,  
Московская обл., Россия, 141005; e-mail: moiseev@mgul.ac.ru

В статье описываются роль, место и содержание отраслевой экономической дисциплины «лесная экономика» в системе лесопользования, как в теории, так и на практике, с учетом применяемой в стране модели экономики и динамики взглядов на экономическую теорию в системе управления жизнеобеспечением людей и общества в целом. При этом особое внимание уделяется необходимости учета в лесной экономике главных отраслевых особенностей лесного хозяйства, связанных с долгосрочным периодом лесовыращивания, многоцелевым значением лесов как объекта управления и требованием организации и планирования системы мероприятий по использованию и воспроизводству лесов на зонально-типологической основе с учетом их целевого назначения. Все эти вопросы рассматриваются в историческом аспекте на основе трудов предшественников и имевших место дискуссий между сторонниками земельной и лесной ренты. Дается трактовка экономической природы затрат в лесном хозяйстве, платежей за ресурсы леса, их целесообразного распределения по финансовым потокам для создания баланса экономических интересов основных субъектов лесных отношений.

*Ключевые слова:* лесная экономика как научная дисциплина, лес как объект управления, лесное хозяйство как отрасль материального производства, непрерывное неистощительное пользование лесом, отраслевые особенности лесной экономики, платежи за ресурсы леса, требование устойчивого управления лесами.

Прошло 30 лет так называемой перестройки, связанной казалось бы с переходом от централизованно планируемой системы управления к рыночной. Однако в области экономики ожидаемые результаты так и не состоялись. Перед одной из ежегодных встреч руководителей России и Финляндии по проблемам сотрудничества в области лесного сектора финская сторона в своем интервью заявила, что российская система управления представляет «слоеный пирог», в котором сохраняются остатки доперестроечной системы и «дикая экономическая свобода». Можно по-разному относиться к этой оценке, но, к сожалению, в области использования лесов и ведения хозяйства в них до сих пор отсутствуют цивилизованные формы рыночной экономики. Кроме того, эта область деятельности относится к числу наиболее коррумпированных.

Сама же отрасль лесного хозяйства влачит жалкое существование и не обеспечивает даже простого воспроизводства используемых ресурсов, что приводит к их истощению, падению рентабельности и даже банкротству лесопильно-деревообрабатывающих предприятий. Эта отрасль не мотивирована и на повышение доходности лесов, как главного источника ее интенсификации.

При этом обострилась и вся окружающая страну обстановка. Образ «размытого (по Горбачеву) врага» теперь стоит у границ России, угрожая ей за неповиновение следовать в русле однополярного мира, организуемого главным устроителем хаоса в международной обстановке. Украинские события окончательно сняли маску с нынешних главных игроков на мировой арене, жаждущих раздела России и захвата ее природных богатств. «Западные санкции» являются лишь одним из средств принудить Россию отказаться от ее национальных интересов. В этой ситуации историческое противостояние Запада и России будет лишь усиливаться.

При сложившейся в России псевдорыночной неолиберальной экономике, следующей в русле рыночного фундаментализма, требуется ее неотложная трансформация с учетом угроз, вставших перед страной.

Возвращаясь к экономике, как к общественной науке, следует отметить, что она тем и отличается от таких естественных наук, как, например, математика и физика, что в ней нет раз и навсегда установленных незыблемых законов и постулатов. Она относится к эмпирическим наукам, обобщающим развитие хозяйственной жизни, постоянно изменяющейся в динамике развития человечества в рамках его неустойчивых взаимоотношений и внутри себя, и с окружающей его природой, ограниченными ресурсами которой оно пользуется, изменяя при этом и условия существования для самого себя. Конечно, при таком характере экономической теории могут быть выявлены и определяются соответствующие закономерности развития человеческой деятельности, применительно к которым вырабатывается экономический инструментарий (методы и приемы) для экономической оценки принимаемых решений и выбора наиболее эффективной ее организации на разных уровнях управления.

Для начала следует отметить, что экономика является лишь одной из составляющих сложной системы управления в широком понимании – управления жизнеобеспечением людей и человечества в целом на разных исторических этапах его развития [12]. При этом надо иметь в виду, что и управление как наука еще не сформировалось и носит пока эклектический характер, несмотря на наличие объемных учебников по менеджменту. Поэтому политологи подчеркивают, что наступивший системный кризис вызван не только финансовыми и экономическими проблемами, но и, прежде всего, проблемами управления как в отдельных странах, так и на мировом уровне. Авторы одного из докладов Римского клуба приходят к следующему выводу: «...объяснение того, что многие мировые проблемы заведены в тупик, заключается в плохом управлении» [3].

Само по себе управление охватывает широкий круг органически взаимосвязанных мероприятий, предпринимаемых для достижения поставленных целей, в том числе политических, социальных, экономических, экологических и культурных, с учетом многих факторов – менталитета народов, их культуры, истории развития, традиций, накопленного опыта, уровня социально-экономического развития, институциональной структуры общества, прав собственности на природные ресурсы, внутренней и внешней обстановки. В каждой стране исторически складывается своя комбинация перечисленных факторов и целей развития, а также адекватная ей система управления, которую неразумно спонтанно менять, копируя сложившиеся в других странах образцы. В качестве примера уместно привести две рядом расположенные страны, выделяющиеся в мировом лесном секторе, – США и Канаду. Они тесно сотрудничают друг с другом, но их системы управления лесами не имеют ничего общего, различаясь и формой собственности на них, и взглядами народов этих стран на данный предмет.

Экономика как одна из составляющих системы управления не может игнорировать характер последней, причем не только с учетом особенностей страны, но и той цивилизации, к которой она относится. Последнее до недавнего времени экономистами вообще игнорировалось.

Экономическая теория имеет долгую историю и немало направлений развития, включая неоллиберализм (пусть идет, как идет), институционализм, кейнсианство и др. Но тем не менее, она в основном заикливалась на эволюции частнокапиталистической рыночной экономики. Централизованно же планируемая система хозяйства, характерная для бывшего СССР и сохраняющаяся в определенных формах в Китае и некоторых других странах, рассматривалась как незаконно рожденное дитя. Но в мире нет ничего случайного и ничто бесследно не исчезает. Даже применительно к рыночной экономике, зародившийся, например, более 100 лет назад, институционализм снова привлекает к себе внимание, особенно в России.

Но и взгляды на рыночную экономику претерпели существенные изменения, главным образом в связи с монополизацией рынков, тем более на современном этапе, когда транснациональные корпорации стали все ощутимее влиять на характер функционирования глобальной экономики, вынуждая принимать межгосударственные меры по ее регулированию.

Однако наступивший мировой кризис заставил и политиков, и экономистов по-новому взглянуть на экономические взаимоотношения как внутри стран, так и между ними и начать выработать новую парадигму взглядов на экономическую науку. Хотя и раньше было замечено, что далеко не одна только частнокапиталистическая рыночная экономика определяет вектор развития экономической теории. Еще Питирим Сорокин, всемирно известный социолог, глубоко изучивший характер развития США, как лидера капиталистического мира, отмечал, что «только лицемеры могут называть экономику Соединенных Штатов экономикой свободного предпринимательства...

В настоящее время отход от капитализма зашел уже настолько далеко, что во всех евро-американских странах, включая США, подлинная "полнокровная капиталистическая" или "свободно-предпринимательская" (free-enterprise) система экономики превратилась лишь в один из секторов экономики этих стран, причем не всегда главный... Ее все более вытесняют "экономика корпораций" и "экономика, регулируемая правительством", – и та, и другая существенно отличаются от капиталистической системы» [11].

Общей же закономерностью развития является конвергенция, т. е. сближение противоположных экономических систем и выработка интегральной (смешанной) экономической системы, где рыночный механизм целенаправленно регулируется системой государственных мер, включая выработку экономического курса, планирование, законодательные меры и др. Признается, что большинство развитых и развивающихся стран функционирует в рамках смешанной экономической системы с большим набором различий, касающихся как отдельных стран, так и цивилизаций. Ограниченные рамки статьи не позволяют проанализировать эту развивающуюся систему. Отметим лишь одну ее особенность. Если в идеальной свободной рыночной экономике взаимодействуют два субъекта (продавец и покупатель), то в смешанной экономической системе добавляется третий субъект – государство, активно устанавливающий правила игры первых двух и осуществляющий регулирование их деятельности и контроль за нею.

Но и в этой системе субъекту, осуществляющему бизнес, присущи те же недостатки, которые связаны с частной деятельностью и предполагающие погоню за прибылью (нередко любой ценой). Частные и общественные интересы никогда не были в гармонии независимо от форм и масштаба бизнеса (мелкого, среднего или крупного). В данном случае надо обратить внимание на следующее обстоятельство: до недавнего времени в экономической теории главенствовало мнение о том, что экономика не касается морали и нравственности. Но наступивший мировой кризис, который может превзойти масштабы Великой депрессии 1930-х гг., заставляет основательно пересмотреть взгляды не только на экономику, но и на весь предшествующий этап хозяйствования человека на планете. Суммарно накопившиеся недостатки его хозяйственных воздействий на природу уже угрожают существованию всего человечества, причем не в отдаленной перспективе, а в ближайшие десятилетия, если не образумится человечество, которое охватила болезнь «всеобщего помешательства» [3]. По признанию не только духовных лиц [5], но и многих политологов, в основе кризиса лежит утрата в человеческой деятельности нравственного начала, морали. Бывший мэр Москвы Ю.М. Лужков в своей обличительной статье по поводу нынешнего кризиса в качестве эпитафии использует как никогда актуальные слова известного лидера индийского народа Махатмы Ганди: «Нас погубит политика без принципов, богатство без труда, ... бизнес без морали» [4].

Российские экономисты от первого Ломоносова в экономике – И.Т. Посошкова, до современных общепризнанных, включая бывшего главного



редактора журнала «Вопросы экономики» акад. Л.И. Абалкина, считают, что в развитии экономики наряду с вещественными факторами производства (труд, капитал, природные ресурсы) важную роль играют и невещественные (честность, доверие и справедливость), которых, к сожалению, не хватает в нынешней системе экономических отношений.

В связи с углубляющимся экологическим кризисом экономистов все настойчивее призывают не ограничиваться односторонней экономической оценкой принимаемых решений, а руководствоваться эколого-экономическим подходом [13]. Не меньше критикуют и тех экономистов, а также идущих у них на поводу политиков, которые в орбиту рыночных отношений все шире вовлекают ресурсы и услуги нерыночного характера под видом их якобы желательной коммерциализации. Это приводит к загрязнению социальной и духовной сфер и наносит непоправимый вред, опустошая души людей. Поэтому духовная элита народов всех наций призывает в человеческой деятельности руководствоваться тремя «Э»: этикой, экологией, экономикой. Эти требования в указанной последовательности и должны быть в основе организации устойчивого развития человеческой деятельности, особенно в управлении лесами и пользования ими.

Надо сказать, что лесной экономике не повезло в истории развития, хотя она на 9 лет старше экономической теории, лежащей в основе всех отраслевых экономических наук. Ее формированию помешал излишне потребительский взгляд на пользование лесными ресурсами, который хорошо выражается в известном афоризме: «Нам не надо ждать милостей от природы, взять их – наша задача». И брали без всякой меры и расчета. До середины XX в. общей тенденцией эксплуатации лесов в промышленно развитых странах были опустошительные рубки девственных лесов самых ценных пород с высокосортной древесиной без должной заботы об их воспроизводстве. Лишь доведя свои леса «до ручки», ряд стран, в том числе США и скандинавские, спохватились и начали принимать меры по упорядочению лесопользования и интенсификации лесного хозяйства. Россия не была исключением такого порядка лесозаготовки с тем только отличием, что надлежащий порядок в ее лесах отсутствует до сих пор.

Правильному взгляду на лес как на объект управления и на отраслевые особенности лесной экономики мешает недостаток понимания исключительной сложности и особой многосторонней важности этого объекта для жизнеобеспечения всего человечества. Данный объект управления в числе других имеет две ярко выраженные особенности. Во-первых, он должен и может воспроизводить непрерывно расширяющийся ассортимент рыночных и нерыночных ресурсов и услуг, необходимых для всех сфер жизнеобеспечения человечества, включая экономические, социальные, экологические, духовные, несоизмеримые одним только денежным эквивалентом, на котором зиждется рыночная экономика и ее система ценообразования. Во-вторых, для создания такого объекта управления требуются не годы, а десятилетия, для наиболее же

ценных лесов – даже столетия, что в инвестиционном отношении ставит лесное хозяйство, т. е. всю отрасль, связанную с лесовыращиванием, в неконкурентное положение. Для сохранения лесов и интенсификации хозяйства в них, особенно при переходе на многоцелевое лесное хозяйство, данное обстоятельство является ахиллесовой пятой лесной экономики.

В истории лесозаготовки лесной бизнес никогда не радел о сохранении лесов, их биоразнообразии и тем более не руководствовался обременяющими его требованиями воспроизводства нерыночных ресурсов и услуг, потребности в которых растут опережающими темпами по сравнению с рыночными. Лесозаготовка сводилась к первоочередному изъятию самых ценных для рынка ресурсов леса без заботы об их воспроизводстве, что вело к их истощению и разрушению сложных лесных экосистем, потере биоразнообразия и отводу под другие виды землепользования. Многочисленные примеры подобного отношения к лесам юридических и физических лиц, занятых лесным бизнесом, общеизвестны. Его предельно четко выразил основатель кибернетики Норберт Винер: «В мире, связанном стремлением к выгоде, мы вынуждены эксплуатировать рощи секвойи, как шахты, не оставляя будущему ничего, кроме опустошенной земли» [1]. Заметим, что секвойя – одно из самых крупных деревьев в мире (высота – до 120 м, диаметр – до 10 м), живущее до 4...5 тыс. лет, – была нещадно вырублена на западном побережье США и в естественном виде сохранилась лишь в отдельных национальных парках. Ветеран Верховного суда США Уильям О. Дуглас писал, что большой бизнес нанес непоправимый урон природе США, в особенности лесам этой страны [2]. Мишель Монтень утверждал, что «нет такой выгоды, которая не была бы связана с ущербом для других» [7].

Подобное отношение человека к природе и лесу как к ее экологическому каркасу наши далекие предшественники постарались учесть при формировании лесозаготовки – науки, которая в XVIII–XIX вв. во многих европейских странах и в России заменяла лесную экономику. Основатели этой науки считали, что при организации использования лесов и хозяйства в них надо создавать такой порядок, который бы обеспечил не сиюминутный эффект, а постоянный наивысший доход при сохранении самих лесов и даже улучшении их. Далее перечислим те отраслевые особенности, которые должны учитываться для организации такого порядка не только при лесозаготовке как важнейшем инструменте лесозаготовки, но и при формировании лесной экономики, ибо без их учета она не способна использовать экономический инструментарий, выработанный экономической теорией, применительно к специфике лесного хозяйства как отрасли, связанной с использованием и воспроизводством всего комплекса ресурсов и услуг леса, как рыночных, так и рыночных (общественных благ).

Главной отраслевой особенностью, накладывающей отпечаток на всю лесную экономику и на лесозаготовку в целом, является беспрецедентно (по сравнению с другими отраслями) длительный (измеряемый десятилетиями)

процесс воспроизводства леса как объекта управления и основного средства производства в лесном хозяйстве. С учетом этой особенности основатели лесоустройства (Генрих Котта и Георг Людвиг Гартиг) выдвинули непреложное требование – соразмерять во времени размер пользования ресурсами леса с масштабами и темпами их воспроизводства, которое возведено в принцип постоянства пользования лесом и ныне называется требованием непрерывного неистощительного пользования лесом (ННПЛ). Оно должно быть стержневой идеей и для формирования лесной экономики, что, к сожалению, пока должным образом не учитывается.

Второй (соподчиненной первой) особенностью леса как объекта управления является его многоцелевой характер, т. е. многообразие ресурсов и услуг, воспроизводимых этим объектом как средством производства. Все ресурсы и услуги леса как цели хозяйства органически взаимосвязаны и не могут рассматриваться отдельно друг от друга. Пользование каждым из них должно осуществляться с учетом других ресурсов и услуг леса в общей системе целей, поставленных перед лесным хозяйством, с учетом их соподчиненности, но без противопоставления друг другу для каждой категории лесов. Такая трактовка этой особенности выдвигает соответствующие требования к организации производства в лесном хозяйстве и управлению лесами. Отметим, что при таком понимании этой особенности недопустимо передавать в пользование разным арендаторам на одной и той же территории разные ресурсы и услуги леса и вряд ли допустимо передавать в аренду ресурсы и услуги леса нерыночного характера, т. е. общественные блага, которые не должны служить только частным интересам.

Третьей особенностью является органическое сочетание природных процессов роста и развития леса с направляющими процессами приложения труда и капитала в виде системы хозяйственных воздействий с учетом их целей, экономических и зонально-типологических условий, в которых произрастают леса как объект управления. Эта особенность тоже выдвигает ряд требований к организации производства и управления, без которых немислим системный экономический подход к оценке принимаемых решений. Суть требований сводится прежде всего к тому, что при экономической оценке хозяйственных воздействий на управляемый объект следует учитывать не отдельные мероприятия, а их систему, включая способы рубок, возобновления, ухода, защиты, охраны, в том числе организационные и инфраструктурные (например, дорожную сеть). Системы мероприятий в лесном хозяйстве являются фундаментальной основой, как и в отраслях агропромышленного комплекса, связанных с земледелием и растениеводством.

Но системы мероприятий в лесном хозяйстве связаны с конкретными условиями произрастания леса и потому могут быть только региональными. Проф. Г.Ф. Морозов по этому поводу писал, что зональное и типологическое начало должно быть руководящим при планировании и организации лесного хозяйства, но при этом нельзя допускать всеобщих рецептов для всей России.

Немецкие лесоводы подобное требование называли «железным законом места». Между тем, десятилетиями существующая сметно-бюджетная операционная система планирования отдельных мероприятий в лесном хозяйстве, отражаемая в бывшей форме 10-ЛХ, противоречит вышеназванному должному системно-дифференцированному подходу к управлению лесами.

Рассматриваемому объекту управления присущ ряд и других особенностей. По образному выражению писателя Л. Леонова, «лес – это открытая кладовая», на которой не навешан замок [6]. Поэтому она открыта для любых нарушений, если в общей системе лесопользования не предусмотрены надежные меры по охране лесов от различных нежелательных воздействий, в том числе от умышленных нарушений. Беспрецедентный масштаб так называемых нелегальных рубок явился следствием отмены разрешительного порядка и ликвидации лесной службы с постоянной лесной охраной, надобность в которых была подтверждена двухвековым опытом отечественного лесопользования.

Можно было бы остановиться и на такой особенности, как сезонность многих мероприятий в лесном хозяйстве, что также выдвигает определенные требования к организации и планированию лесного хозяйства и отражается на его экономике.

Все перечисленные особенности должны учитываться при организации устойчивого пользования и управления лесами. Но они должны быть и макроструктурной основой содержания лесной экономики и, конечно, применяться при организации и планировании лесного хозяйства и смежных (связанных) с ним отраслей и производств, базирующихся на использовании ресурсов и услуг леса.

В действительности эти отраслевые особенности, как правило, лишь декларируются, но органически не вплетаются в общую системную связь лесопользования и содержания лесной экономики в качестве его составляющей. При этом и многие учебные пособия по лесной экономике в своей содержательной части преимущественно представляют лишь механическое приложение экономической теории к отдельным фрагментам перечисленных особенностей, что лишает ее конкретности и действенности.

Длительный период воспроизводства леса должен изначально отражаться на содержании его экономики и на соответствующих моделях, раскрывающих природу затрат в этой отрасли. Однако со времени предложенной в 1849 г. М. Фаустманом формулы земельной ренты в лесном хозяйстве и основанном в 1856 г. на ней учении о финансовой спелости М.Р. Пресслера лесные экономисты по взглядам на процесс воспроизводства в лесном хозяйстве разделились на два непримиримых лагеря: сторонников земельной ренты и сторонников лесной ренты [8, 14]. Первые строят свои взгляды на основе модели периодического пользования лесом для каждого отдельного его участка с позиции «голой» земли, вторые строят модели воспроизводства в лесном хозяйстве на основе той совокупности лесных участков, в рамках которых возможна организация ННПЛ.

Социальной базой точки зрения первых явились мелкие частновладельческие леса (площадью до 50...100 га), которые преобладали на ранних этапах

развития капитализма и не были объединены в ассоциации, возникшие позже, во второй половине XX в. В рамках таких владений экономически эффективная организация ННПЛ была недоступна и потому мелкие лесовладельцы ограничивались формой периодического пользования лесом. Для такой вынужденной формы лесопользования строилась и соответствующая ей модель воспроизводства, в которой все затраты на лесное хозяйство считались инвестициями, а для оценки их эффективности определялся чистый дисконтированный доход на разных возрастных этапах древостоя с возрастом рубки в момент достижения его максимального значения. На таком подходе, как на краеугольном камне, и сформированы в основном англоязычные учебники по лесной экономике. В трудах проф. М.М. Орлова и проф. Г. Шпайделя отмечены уязвимые стороны такого подхода, включая необоснованность используемой процентной ставки, заниженные возрасты рубки и, как следствие, сведение лесов к древостоям с преобладанием мелкотоварной древесины, с упрощенными структурами насаждений и обеднение биоразнообразия, что в целом противоречит организации устойчивого управления лесами.

В Германии, где и зародился такой подход, нанесший непоправимый урон лесам этой страны, борьбу с ним возглавил выдающийся лесной экономист проф. Г. Шпайдель, который в своих трудах доказывал необходимость другого подхода – на основе организации ННПЛ и определения возраста спелости леса на основе не земельной, а лесной ренты [14]. В государственных лесах и в крупных частных лесных владениях преимущественно использовался именно этот второй подход.

В моделях воспроизводства леса на основе организации ННПЛ затраты на лесное хозяйство делятся на две категории: текущие, ежегодно окупаемые при реализации лесоматериалов и других видов лесной продукции, и единовременные вложения – инвестиции, используемые для повышения продуктивности лесов (интенсивный путь развития хозяйства) и разведения леса на площадях, где он ранее не произрастал (экстенсивный путь), а также при освоении резервных лесов, требующих создания соответствующей инфраструктуры. М.М. Орлов и другие сторонники лесной ренты особо подчеркивали недопустимость смешения текущих и капитальных затрат при планировании, отчетности и оценке эффективности их в практике лесного хозяйства.

При таком подходе обычно обращалось внимание на ограниченность использования схемы нормального леса, как критерия для ориентации лесного хозяйства, не всегда реализуемого в ближайшей перспективе. Автором статьи разработана теория воспроизводства леса, в которой исключены недостатки подхода на основе схемы нормального леса (Н.А. Моисеев, 1980) [6]. На основе этой теории предложены модели простого и расширенного воспроизводства (интенсивным и экстенсивным путем), логично встроенные в общие программы использования и воспроизводства лесных ресурсов с оценкой их эффективности. При этом раскрыта и экономическая природа затрат в лесном хозяйстве: модели простого воспроизводства функционируют на основе ежегодно

используемых и окупаемых текущих затрат, модели расширенного воспроизводства – на основе дополнительных капитальных вложений (инвестиций), при оценке эффективности которых следует учитывать фактор времени с помощью процентной ставки.

Принципиальным отличием упомянутых точек зрения на схему воспроизводства является следующее весьма немаловажное положение: исходным объектом управления в лесном хозяйстве сторонники земельной ренты считают голую землю отдельного участка, сторонники же лесной ренты – леса в органическом единстве всех образующих их компонентов, включая землю, в том понимании, которое в отечественной науке (В.Н. Сукачев) представлялось в виде лесных биогеоценозов, в зарубежной литературе названных лесными экосистемами. И когда ныне говорят об экосистемном управлении лесами, то, очевидно, имеют в виду управление не только одной голой землей.

При этом чистый доход в лесном хозяйстве главным образом зависит не от земельной, а от лесной ренты как показателя умения управлять лесами, формировать их структуры, используя целенаправленные хозяйственные воздействия. И стоимость лесов вместе с занятой ими землей определяется путем капитализации отнюдь не фиктивной величины земельной ренты, а именно величины лесной ренты, в составе которой земельная занимает от 1/5 до 1/10 ее величины, а в низкобонитетных лесах становится нулевой или отрицательной.

Что касается возраста спелости леса как основания для назначения возраста рубки, то в каждый отдельный период он определяется структурой спроса, а не будущим непредсказуемым его характером, ожидаемым к концу оборота рубки. Сам же прием дисконтирования не имеет отношения к определению возраста спелости и предназначен лишь для оценки эффективности инвестиций при сравниваемых сценариях в моделях расширенного воспроизводства лесных ресурсов.

Лесное хозяйство – единственная отрасль, на практике до сих пор не имеющая четких понятий о своей продукции, ее себестоимости, цене и рентабельности. Те же недостатки характерны и для учебных пособий по лесной экономике. При таком положении вещей можно ли рассчитывать на эффективную организацию производства и на должный контроль за деятельностью в этой области? Действующие официальные наставления, правила, инструкции по планированию и отчетности не дают ясного представления о целесообразности затрат на лесное хозяйство, их потребном количестве (при финансировании по остаточному принципу) и эффективности использования. О доходности вообще не идет речи. В нашей стране размер платежей определяется в основном административным путем, по наитию чиновников, полагающих, что существующие мизерные платежи за лесные ресурсы надо бы увеличить или индексировать с учетом инфляции, но аргументировано не обосновывающих на сколько и зачем.

Ошибочно полагать, что для устранения названных недостатков отсутствует опыт. Нет недостатка и в рекомендациях ученых разных поколений.

Главная беда – отсутствие преемственности имевшихся в разное время и опыта, и научных разработок.

Разнонаправленные реформы после каждой революции (в России только в XX в. их было две) наложили свой отпечаток: перестройка каждый раз начинается с отрицания трудов предшественников. Ярким примером подобного является организованная в 1930-х гг. травля классиков отечественного лесного хозяйства – Г.Ф. Морозова, создателя учения о лесе, и М.М. Орлова, сформировавшего учение о лесном хозяйстве. Не исключение и перестроечный период последних двух десятилетий. Руками некомпетентных составителей последнего Лесного кодекса РФ, подмененного земельным законодательством, была ликвидирована служба лесоустройства, разрушен федеральный орган управления лесами вместе с лесной охраной и расчищена дорога беспрецедентным по масштабу нелегальным рубкам и прочим лесонарушениям.

Не пора ли начать собирать разбросанные в беспорядке камни и упорядочить ведение лесного хозяйства в стране? Здесь уместно вспомнить высказывание А. Эйнштейна, что «вся наука есть не что иное, как упорядочение мышления», которое позволяет выстроить суммарно накопившиеся знания и опыт в систему при условии их преемственной связи, историческая нить которой в результате социальных потрясений неоднократно обрывалась.

Прежде всего определимся, с какой экономической системой должна быть связана лесная экономика. Учитывая, что ряд ресурсов и услуг леса носит нерыночный характер и предоставляет общественные блага, значимость и потребность в которых возрастают опережающими темпами по сравнению с рыночными ресурсами, ответственность за их воспроизводство может обеспечить только государство независимо от того, кто будет выполнять этот заказ. Такая установка на многоцелевое лесное хозяйство означает, что лесная экономика при нынешней ситуации (ситуации разброда и шатания) должна быть ближе всего к смешанной экономической системе, в которой рыночный механизм должен целенаправленно регулироваться системой государственных мер с учетом общественных интересов.

Какой же характер, название и содержание должна при этом иметь лесная экономика как наука? Многоцелевое назначение ресурсов и услуг леса предполагает связь со всеми сферами жизнеобеспечения человечества и по горизонтали (межсекторальная), и по вертикали (многоуровневая – от местного до глобального рынка). При такой структуре лесопотребления система лесопользования и ее экономическая составляющая не могут замыкаться только на уровне микроэкономики. Она должна быть связана и с другими уровнями – с макро- и мезоэкономикой (имеются в виду и отдельные блоки мирового рынка, и крупные региональные рынки внутри страны). При этом правомерно признание лесов глобальным фактором, регулирующим и стабилизирующим многие природные явления биосферы, а в рамках природопользования – и социально-экономические процессы.

При таких экономических связях лесную экономику нельзя замыкать в традиционных рамках микроэкономики, учитывая постоянно расширяющиеся связи и экономические отношения с различного рода лесопользователями. Поскольку эффект от пользования лесами оседает во многих отраслях и секторах народного хозяйства, это обязывает учитывать народнохозяйственный эффект, а в организационном отношении – налаживать межотраслевые хозяйственные отношения в целях привлечения средств отраслей-потребителей для организации расширенного воспроизводства лесных ресурсов и услуг, благодаря чему роль лесного хозяйства и его финансовая подпитка будут только возрастать.

Итак, экономику лесного хозяйства как отраслевую науку целесообразно расширить и представить ее экономикой непрерывного, неистощительного, многоцелевого использования и воспроизводства лесов, их охраны и управления ими с учетом растущего спроса на лесные ресурсы и услуги на внутренних и внешних рынках для повышения благосостояния народов России. При таком понимании эту дисциплину можно называть лесной экономикой. Данного названия придерживались и наши предшественники, например М.М. Орлов и В.И. Переход [8, 9]. Но нельзя утрачивать фундаментальную основу экономики лесного хозяйства с названными выше отраслевыми особенностями, которые должны ею учитываться. Когда говорят о сравнительной значимости лесных отраслей в объединяющем их лесном секторе, отдавая первенство то лесозаготовкам, то глубокой переработке, особенно целлюлозно-бумажной промышленности, ключевой на данном этапе, не следует забывать, что все они зависят прежде всего от качества и количества используемых ресурсов, за воспроизводство которых ответственна такая отрасль, как лесное хозяйство. Это тот колодезь, в который нельзя плевать, от него зависят жизнь и благосостояние утоляющих жажду.

Вернемся к тому, что представляет собой лесное хозяйство как отрасль, в чем заключается его продукция, каковы ее себестоимость и цена, а также рентабельность продукции и всей отрасли. Внятных ответов в современных учебных пособиях не найти. Чтобы ответить на эти вопросы, надо хотя бы в первую очередь просмотреть труды М.М. Орлова, А.Ф. Рудзкого, Ф.К. Арнольда, В.И. Перехода, Д. Товстолеса, а также других не только отечественных, но и зарубежных ученых и лесных экономистов [13, 14]. Следует напомнить, что перечисленные ученые не отделяли лесное хозяйство от лесопользования. Первое, логично включая второе, аргументированно утверждало, что нет лесного хозяйства без лесопользования. Лесное хозяйство мыслится только при условии организации постоянства лесопользования, или в нынешней терминологии – ННПЛ, т. е. теми ресурсами и услугами, на которые предъявляется спрос. Без постоянства пользования, или ННПЛ, как подчеркивали и М.М. Орлов, и его учитель А.Ф. Рудзкий, будет не лесное хозяйство, а лесосводка.

Таким образом, если принять во внимание труды корифеев, научную значимость которых при нынешнем состоянии лесной экономики мы не перешаг-



нули (конечно, найдутся оскорбленные лица, полагающие, что они впереди планеты всей), то выделять из лесного хозяйства лесозаготовки в какую-то самостоятельную отрасль нелогично, несмотря на то, что она у нас давно фигурирует как вроде бы самостоятельная и самодостаточная.

Но вернемся к уточнению понятий, прежде всего связанных с лесом и его ресурсами. Трактовка их при всей кажущейся очевидности далеко не однозначна и определяется главным образом взглядами того или иного автора на схему воспроизводства в лесном хозяйстве. Сторонники земельной ренты, рассматривающие в качестве объекта управления отдельно взятый участок голой земли с позиций периодического пользования, представляют создаваемый на нем древостой одновременно в двух ипостасях – как средство производства и как продукт труда.

Сторонники лесной ренты, рассматривающие в качестве объекта управления лесной массив, в рамках которого возможна организация ННПЛ, представляют его как основное средство производства в лесном хозяйстве, называемое «лесной капитал». Заметим, что в ст. 6 Лесного кодекса 1997 г. лесной фонд и участки лесного фонда как объекты лесных отношений признавались основным средством производства в лесном хозяйстве [10, с. 15]. Соответственно согласно назначению леса как основное средство производства по Гражданскому кодексу РФ (ст. 130) относились к недвижимому имуществу, поскольку они прочно связаны с землей, т. е. к объектам, перемещение которых без несоразмерного ущерба их назначению невозможно [10, с. 68]. Составители Лесного кодекса 2006 г. приложили все усилия к тому, чтобы разорвать эту прочную связь леса с землей и представить его уже как движимое имущество, настояв и на внесении последующей поправки в Гражданский кодекс об исключении лесов из категории объектов недвижимого имущества. Чем бы ни руководствовались при этом составители последнего Лесного кодекса, предпринятый ими шаг можно рассматривать как диверсию, облегчающую последующий оборот лесных земель (в том числе перевод в частную собственность), руководствуясь уже не Лесным, а Земельным кодексом. Надо полагать, что история на этом не заканчивается, а Лесной кодекс 2006 г. не является последним, на смену ему придет другой. И если найдутся достойные политические силы, они исправят допущенный махинаторский выверт.

Что касается лесных ресурсов и услуг, то сторонниками лесной ренты они представляются продуктами труда в лесном хозяйстве без отождествления с воспроизводящим их лесом как основным средством производства. Вопрос, был ли затрачен труд на их воспроизводство или они являются бесплатными дарами природы, снимается требованием ННПЛ. Его выполнение возможно только через гарантию воспроизводства используемых ресурсов и финансирования необходимых для этого затрат, которые должны быть учтены в составе платежей за ресурсы леса.

О характере последних неоднократно писалось. В цивилизованных условиях рыночной экономики они, конечно, должны определяться не адми-

нистративным путем, как это до сих пор делалось, а с учетом спроса и предложения на тех рынках, в зоне которых находятся леса. Стартовые же цены для аукционов должны устанавливаться на основе рентного подхода с учетом известных и неоднократно описанных в литературе рентиобразующих факторов. Напомним, что лесная рента, или чистый дифференциальный доход (ЧД), представляет собой остаточную стоимость как разность между рыночной ценой лесоматериалов, реализуемых на рынке ( $C_{\text{рын}}$ ), и суммой затрат ( $\Sigma C$ ) по всей технологической цепочке, включая затраты на воспроизводство используемого ресурса ( $C_{\text{в}}$ ), заготовку ( $C_{\text{з}}$ ) и транспортировку ( $C_{\text{т}}$ ) вместе с нормативной прибылью на эти затраты ( $\Pi_{\text{н}}$ ):

$$\text{ЧД} = C_{\text{рын}} - (\Sigma C + \Pi_{\text{н}}). \quad (1)$$

В этом виде лесная рента играет многофункциональную роль: определяет экономическую доступность лесных ресурсов, чистый доход собственника лесов (в России – государства), рентабельность продукции, индекс эффективности инвестиций, используемых для улучшения состояния лесов и их доступности.

Что касается платежей за ресурсы леса ( $C_{\text{рес}}$ ), то они должны состоять из двух частей – лесной ренты, или чистого дохода, и затрат на воспроизводство используемого ресурса ( $C_{\text{в}}$ ):

$$C_{\text{рес}} = \text{ЧД} + C_{\text{в}}. \quad (2)$$

Для владельца лесов и лесопользователей далеко не безразлично распределение этих платежей согласно их структуре по финансовым потокам. Чистый доход (рента) должен направляться в консолидированный бюджет, распределяясь по законодательному соглашению на заранее оговоренные цели в программах федерального, регионального (субъекты РФ) и местного (муниципальные образования) уровней.

Затраты на воспроизводство используемых ресурсов должны оставаться на счетах либо арендатора, по договору обязанного вести лесное хозяйство, либо местного государственного органа управления (лесничества) для финансирования лесного хозяйства на неарендованной лесной площади. Именно эти затраты должны предусматривать простое воспроизводство используемых ресурсов в рамках себестоимости их воспроизводства. При этом затраты на региональные системы лесохозяйственных мероприятий, обоснованные при лесоустройстве на зонально-типологической основе с учетом целевого назначения лесов, и представляют собой себестоимость воспроизводства используемых ресурсов как составную часть лесных платежей, которая отражается в себестоимости производства лесоматериалов у лесопользователя (арендатора).

Нынешний порядок финансирования текущих затрат на лесное хозяйство через субвенции продолжает ту же порочную практику использования сметно-бюджетной операционной системы финансирования из федерального бюджета, необоснованно претендующего на предвосхищение характера и размера затрат на отдельные лесохозяйственные мероприятия и их операции, которые зависят от многочисленных непредсказуемых факторов и условий хозяйствования на местном уровне (погодные и меняющиеся в связи с кризисом экономические условия).

Что касается субвенций, то они должны относиться не к текущим, а к капитальным вложениям, финансируемым из бюджетов разных уровней за счет аккумуляции лесного дохода по соответствующим сметам, как это характерно для капитального строительства. Например, сейчас достигнуто понимание в необходимости строительства магистральных лесных дорог за счет государственных средств из бюджетов РФ и субъектов РФ в определенной пропорции.

В этой статье рассмотрены лишь отдельные прикладные стороны лесной экономики как экономической составляющей организации устойчивого пользования и управления лесами. Но сами по себе предлагаемые экономические меры не могут быть реализованы на практике, если они не будут закреплены законодательно в соответствующих нормативно-правовых актах.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Винер Н. Я* – математик. М., 1964. 256 с.
2. *Дуглас Уильям О.* Трехсотлетняя война: Хроника экологического бедствия. США, Michigan, 1972. 215 с.
3. *Кинг А., Шнайдер Б.* Первая глобальная революция. Доклад Римского клуба. Нью-Йорк, 1991. 340 с.
4. *Лужков Ю.М.* Кризис транскapитализма и Россия // *Экономист*. 2009. № 5.
5. *Митрополит Смоленский и Калининградский Кирилл.* Либеральный стандарт: угроза миру и свободе // *Церковный вестник*. 2004. № 1-2.
6. *Моисеев Н.А.* Воспроизводство лесных ресурсов // *Лесн. пром-сть*. 1980. С. 263.
7. *Монтень М.* Опыты. Кн. 1-III. Лондон, 2003. 1284 р.
8. *Орлов М.М.* Лесоустройство. Т. 1: Элементы лесного хозяйства. М., 2006. 319 с.
9. *Переход В.И.* Теория лесного хозяйства. Курс лесной экономики со статистикой. 2-е изд. Минск, 1924.
10. Сборник нормативных правовых актов в области использования, охраны, защиты лесного фонда и воспроизводства лесов (по состоянию на 1 июля 2002 г.). М., 2002. 640 с.
11. *Сорокин П.* Главные тенденции нашего времени. М., 1997. 351 с.
12. *Хайлбронер Р.А.* Экономическая теория как универсальная наука // *Social Research*. М., 1991. Т. 58, № 2. С. 457–474.
13. *Fahser Von L.* 1987. Die Okologishe Orientievung der Forstokonomic // *Forstarchiv*. 58. Jahrgang, 1987. P. 50–60
14. *Speidel G.* Forstliche Bttriebswirtschafts Lehre.2 Auflage, Verlad Paul Parey. Berlin und Hamburg, 1984.

Поступила 13.05.15

UDC 630\*6

### Forest Economy in the Forest Management in Theory and in Practice

*N.A. Moiseev*, Member of the Russian Academy of Sciences  
 Moscow State Forest University, 1<sup>st</sup> Institutskaya str., 1, Mytishchi-5, Moscow Region, 141005, Russian Federation; e-mail: moiseev@mgul.ac.ru

The paper describes the role, place and content of the sectoral economic discipline “Forest economy” in the system of forest management, both in theory and in practice, taking into account the applicable model of the economy in the country and the dynamics of views on

the economic theory in the management of Human Factors System and society. Particular attention is paid to the need to consider the forest economy of the major industry practices of forest management related to long-term forest growing, multi-purpose role of forests as an object of management, and the requirement of the organization and planning of deals for the use and reproduction of forests on the zonal-typological basis in accordance with their purpose. All these issues are considered in historical perspective, taking into account the works of predecessors and the discussions between the supporters of land and forest rents. The article presents an economic interpretation of the nature of costs in forestry, payments for forest resources, their expedient distribution of financial flows to balance the economic interests of the main subjects of forest relations.

*Keywords:* forest economics as a scientific discipline, forest as an object of management, forestry as a branch of productive industry; continuous and inexhaustible use of forests, industry practices of the Forest economy; payments for forest resources, requirement for sustainable forest management.

#### REFERENCES

1. Viner N. *Ya – matematik* [I am a Mathematician]. Moscow, 1964. 256 pp.
2. Douglas William O. *The Three Hundred Year War: A Chronicle of Ecological Disease*. USA, Michigan, 1972. 215 p.
3. King A., Schneider B. *The First Global Revolution. A Report by the Council of the Club of Rome*. New York, 1991. 340 pp.
4. Luzhkov Yu.M. *Krizis transkapitalizma i Rossiya* [Transcapitalism Crisis and Russia]. *The Economist*, 2009, no. 5.
5. Mitropolit Smolenskiy i Kaliningradskiy Kirill. Liberal'nyy standart: ugroza miru i svobode [Liberal Standard: a Threat to Peace and Freedom]. *Tserkovnyy vestnik*, 2004, no. 1–2.
6. Moiseev N.A. Vosproizvodstvo lesnykh resursov [Reproduction of Forest Resources]. *Lesnaya promyshlennost'*, 1980, p. 263.
7. Montaigne Michel de. *Essays. Book 1*. London, 2003. 1284 p.
8. Orlov M.M. *Lesoustroystvo. Tom 1. Elementy lesnogo khozyaystva* [Forest Management. Volume 1. Elements of Forestry]. Moscow, 2006. 319 p.
9. Perekhod V.I. *Teoriya lesnogo khozyaystva. Kurs lesnoy ekonomiki so statistikoy* [Theory of Forestry. The Course of Forest Economy Statistics]. Minsk, 1924.
10. *Sbornik normativnykh pravovykh aktov v oblasti ispol'zovaniya, okhrany, zashchity lesnogo fonda i vosproizvodstva lesov (po sostoyaniyu na 1 iyulya 2002 g.)* [Collection of Normative Legal Acts in the Area of Use, Preservation, Protection of Forest Fund and Reproduction of Forests (as of July 1, 2002)]. Moscow, 2002. 640 p.
11. Sorokin P. *Glavnye tendentsii nashego vremeni* [Main Trends of Our Time]. Moscow, 1997. 351 p.
12. Heilbroner R.L. Economics as Universal Science. *Social Research*, 1991, vol. 58, no.2, pp. 457–474.
13. Fahser Von L. 1987. Die Okologishe Orientievung der Forstokonomic. *Forstarchiv*. 58. Jahrgang, 1987, p. 50–60
14. Speidel G. *Forstliche Bttriebswirtschafts Lehre*. Berlin und Hamburg, 1984.

Received on May 13, 2015

DOI:10.17238/issn0536-1036.2015.6.9

---

УДК 630\*6

## О КОНЦЕПТУАЛЬНЫХ ПОЛОЖЕНИЯХ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ВОСПРОИЗВОДСТВА ЛЕСОВ В СИБИРИ

© *А.И. Бондарев*<sup>1</sup>, канд. с.-х. наук

*А.А. Онучин*<sup>1,3</sup>, д-р биол. наук

*В.В. Читоркин*<sup>2</sup>, канд. биол. наук

*В.А. Соколов*<sup>1</sup>, д-р с.-х. наук

<sup>1</sup>Институт леса им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения РАН, Академгородок, 50, стр. 28, г. Красноярск, Россия, 660036; e-mail: abondarev@ksc.krasn.ru

<sup>2</sup>Министерство природных ресурсов и экологии РФ, Большая Грузинская ул., 4/6, Москва, Россия, 123995; e-mail: Chitorkin0210@mail.ru

<sup>3</sup>Сибирский государственный технологический университет, ул. Мира, 82, г. Красноярск, Россия, 660049; e-mail: onuchin@ksc.krasn.ru

В среде лесных специалистов давно идет широкая дискуссия на тему интенсификации лесного хозяйства. Очередной толчок ей дали предложенные Минприроды России «Концепция интенсификации использования и воспроизводства лесов» и «Дорожная карта...» по ее реализации. Спектр мнений при обсуждении этих вопросов достаточно широк: от интенсификации лесного хозяйства всей страны до более узкого его сегмента, а именно лесопользования на арендных участках, которое традиционно включает весь цикл воспроизводства, выращивания и заготовки древесины в пределах оборота рубки. Предложены 4 критерия интенсивного лесопользования: полное использование прироста древостоя в течение всего цикла лесовыращивания; густота дорожной сети, определяющая доступность лесов для лесозаготовки, успешность восстановления лесов целевыми породами; минимизация потери ресурса древесины к возрасту финальной рубки за счет эффективной охраны лесов от пожаров, вредителей и болезней. С учетом разработки нормативов интенсивного лесопользования предлагается в эксплуатационных лесах выделять зону интенсивного лесопользования с образованием соответствующей подкатегории. Для таежной зоны Сибири предусматриваются три периода, в течение которых оценивается успешность формирования целевого породного состава при интенсивном лесовыращивании: период смыкания молодняка (5...10 лет), период окончательного формирования состава древостоя (30...50 лет), период формирования спелого древостоя (70...100 лет). В качестве экономического механизма для обеспечения этого процесса предлагаются залоговые платежи со стороны лесопромышленных компаний, которые им возвращаются по мере того, как будут достигнуты количественные и качественные параметры лесов для каждого из указанных периодов. К преимуществам интенсификации лесопользования во вторичных лесах и на землях, вышедших из-под сельхозпользования, в подзонах южной тайги и лесостепи, по сравнению с пионерным освоением среднетаежных лесов, относятся: высокая потенциальная продуктивность, развитая сеть дорог, наличие трудовых ресурсов и перерабатывающих производств, близость к потребителю, наличие рынка для реализации древесины мягколиственных пород.

*Ключевые слова:* интенсивное лесопользование, цикл лесовыращивания, целевой породный состав, финальная рубка.

*Введение*

Одной из ключевых задач, стоящих перед лесной отраслью и определенных как Основами государственной политики в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов в Российской Федерации на период до 2030 г., так и логикой развития лесного хозяйства в течение последних 100 лет, является интенсификация использования и воспроизводства лесов. С учетом современного уровня лесного хозяйства России, состояния и прогноза динамики лесных ресурсов задачи их воспроизводства и рационального использования будут оставаться актуальными в ближайшей и среднесрочной перспективе.

В среде специалистов лесной отрасли в последнее время развернулась широкая дискуссия на тему интенсификации лесного хозяйства. При этом объектом обсуждения становится как все лесное хозяйство страны в широком понимании, включая собственно ведение лесного хозяйства (лесовосстановление, охрана и защита леса в редакции Лесного кодекса Российской Федерации), так и более узкий сегмент, а именно заготовка древесины на арендованных участках, или в толковании Лесного кодекса Российской Федерации – использование лесов в целях заготовки древесины. Соответственно первая позиция более близка работникам лесного хозяйства и ученым, вторая – крупным лесопромышленным компаниям, у которых есть, хоть и менее многочисленная, но группа сторонников в научной и экспертной среде [1, 3, 5, 6].

Поводом для широкой дискуссии стала и предложенная Минприроды России «Концепция интенсификации использования и воспроизводства лесов» с «Дорожной картой...» по ее реализации. Прямо не указывая на предмет своего приложения, эти документы в части мероприятий, выбора пилотных регионов и исполнителей косвенно подтверждают тот факт, что в первую очередь интенсификации подлежат территории современного лесопромышленного освоения: северо-восток европейской части страны и Центральная Сибирь (Иркутское и Красноярское Приангарье).

В настоящей статье рассмотрено лишь лесопользование в его традиционном понимании, а именно весь цикл воспроизводства, выращивания и заготовки древесины в пределах оборота рубки без рассмотрения всего спектра возможного использования лесов (например для заготовки пищевой и недревесной продукции леса, рекреации, ведения охотничьего и сельского хозяйства), а также экосистемных функций лесов.

*Материалы и обсуждение*

Любая дискуссия рискует стать нерезультативной, если нет четкого определения ее предмета. Так, что же такое интенсивное лесопользование? Как правило, сторонники разных подходов сходятся во мнении, что интенсивного лесопользования в стране нет. При этом они указывают на развитые лесные страны (США, Канада, Финляндия и др.) как эталоны ведения интенсивного лесного хозяйства, которое обеспечивает им первенство на мировых рынках лесопродукции, несмотря на значительно меньшую по сравнению с Россией площадь лесов.

По каким основным критериям оценивать интенсивное лесопользование?

Большинство экспертов сходятся во мнении, что к таковым прежде всего относится использование прироста в полном объеме, которое позволяет получать дополнительную древесину в процессе формирования спелого древостоя. При этом достигается объем заготовки древесины от 4,1 в США до 7,9 м<sup>3</sup>/га в год в Швеции на фоне 1,0 м<sup>3</sup>/га в России [9].

Еще одним важным критерием является доступность лесов для лесозаготовки, которая определяется густотой дорожной сети. Здесь наша страна тоже проигрывает развитым лесным державам, имеющим протяженность лесных дорог (что особенно важно, дорог с твердым покрытием) на единицу лесной площади в 15–20 раз больше, чем в России [7].

Следующий важный критерий – это успешность восстановления лесов целевыми породами в кратчайшие сроки.

И наконец – это эффективная охрана лесов от пожаров, вредителей и болезней, обеспечивающая минимальные потери ресурса древесины к возрасту финальной рубки.

Немаловажным аспектом в понимании интенсификации лесопользования является нормативное и территориальное определение этого понятия. Сложно предположить, что огромные пространства непродуктивных лесов севера Сибири и Дальнего Востока будут вовлечены в сферу интенсификации с учетом их невысокой продуктивности и низкой сезонной доступности в силу неразвитости дорожной сети.

Соответственно должны быть определены территории для ведения интенсивного лесопользования. В интерпретации «Дорожной карты...» – это преимущественно лесопромышленные районы, где сосредоточены основные объемы заготовки древесины в стране, где работают крупные лесопромышленные компании и где большая часть эксплуатационных лесов находится в аренде в целях заготовки древесины. Поэтому представляется логичным выделить в эксплуатационных лесах зону интенсивного лесопользования с образованием соответствующей подкатегории и разработать для нее комплекс нормативов в соответствии с предложенной «Концепцией интенсификации использования и воспроизводства лесов».

Причем эти нормативы не должны распространяться на подкатегорию экстенсивного лесопользования, к которой следует отнести все остальные эксплуатационные леса за пределами территории лесов интенсивного лесопользования. С учетом того, что на 01.01.2015 г. площадь лесов, переданных в аренду, составила 231 млн га (20,2 % от общей площади земель лесного фонда), в том числе для заготовки древесины – 171 млн га (74,0 %), территория интенсивного лесопользования составит около 30 % от площади эксплуатационных лесов страны.

При этом нормативы в зоне интенсивного лесопользования должны учитывать специфику лесных районов страны, а внутри них – лесорастительные условия, особенности лесовосстановительных процессов и ряд других

факторов, определяющих конкретные параметры тех или иных нормативов по использованию, воспроизводству, охране и защите лесов.

На первом этапе планируется разработка нормативов для 5 пилотных лесных районов на территории шести субъектов РФ (Республики Карелия и Коми, Архангельская, Вологодская и Иркутская области, Красноярский край). Общая направленность предложенной «Концепции...» предполагает предоставление большей свободы лесопромышленникам как в части заготовки древесины (проведение финальной рубки при достижении целевого диаметра, отсутствие регламентации доли площади волоков и погрузочных площадок, возможность оставления на лесосеке порубочных остатков, мелкотоварной древесины и др.), так и в части восстановления лесов (уход от обязательности сохранения подроста при рубках, предоставление права самостоятельно выбирать способ лесовосстановления и др.). При назначении уходов за лесом предлагается руководствоваться результатами моделирования динамики прироста, запаса и среднего диаметра насаждения. Контроль эффективности рубок ухода предлагается вести по оставшейся густоте древостоя, абсолютной полноте и среднему диаметру целевой породы.

Предлагаемые решения вполне логичны и давно назрели, ибо нельзя все разнообразие аспектов лесопользования и лесовосстановления сводить к очень ограниченному числу жестких нормативов, которые справедливы на одном участке, но совершенно не работают не только в пределах одного лесничества, но и в лесном районе, о чем в свое время отмечали классики отечественного лесоводства [2, 4, 10].

Действительно, свободы должно быть больше как у лесничих, так и у лесопромышленников в выборе и способов рубки, и способов лесовосстановления, но, как всегда, камнем преткновения является обеспечение последующего восстановления лесов целевыми породами, которое выступает основным критерием успешности действий арендатора по использованию арендных участков.

К сожалению, весь опыт пионерного лесопромышленного освоения первичных лесов в стране, за редким исключением, свидетельствует о том, что, несмотря на огромные средства и усилия по восстановлению породного состава первичных лесов, желаемого результата на значительных площадях получить не удалось. В большинстве случаев восстановительные сукцессии на вырубках таежной зоны, даже с проведенными лесовосстановительными мероприятиями, ничем не отличаются от таковых, где эти мероприятия не проводились. Если происходит естественная смена хвойных лесов на мягколиственные, то она идет независимо от принимаемых мер по предотвращению этого процесса.

Как предполагается изменить эту тенденцию в рамках перехода к интенсивному использованию и воспроизводству лесов пока неясно, но, очевидно, что методы и восстановления и, главное, сохранения лидирующих позиций целевых пород должны кардинально отличаться от используемых в настоящее



время. Исходя из мирового опыта, добиться формирования лесов заданного целевого состава возможно лишь путем выращивания лесных плантаций. Причем в зоне промышленного освоения лесов, где ежегодно вырубается сотни тысяч гектаров, реальным является использование высокотехнологических приемов с минимизацией ручного труда, которые обеспечат высокую производительность и экономическую эффективность лесохозяйственных мероприятий. Лишь такой подход позволит сохранить уровень затрат по выращиванию новых лесов на приемлемом уровне, поскольку вряд ли лесопромышленные предприятия согласятсякратно увеличить затраты на лесовосстановление без серьезной государственной поддержки, которая в настоящее время представляется маловероятной [8, 11].

В целом введение критерия или критериев, определяющих успешность формирования лесов заданного целевого состава, требует дальнейшей проработки. Существует несколько аспектов этой проблемы. Первый – это дисконтирование во времени. Даже при создании лесных культур должно пройти 6...10 лет до их перевода в покрытые лесом земли, чтобы оценить на этом этапе, какие леса формируются. И даже это не гарантирует того, что в конечном итоге мы получим производительные леса, близкие по продуктивности и составу к вырубленным естественным древостоям. Практика лесопользования последних десятилетий показывает, что переводя несомкнувшиеся лесные культуры или естественно сформированные молодняки в категорию хозяйственно ценных, мы их затем теряем на огромных площадях в силу отсутствия или недостаточности уходов. Следовательно, должен быть еще один период (в условиях Сибири от 30 до 50 лет в зависимости от лесорастительных условий), в течение которого повторно проверяется успешность формирования состава целевых лесов. Ну и наконец, к возрасту финальной рубки леса не должны превратиться в расстроенные низкополнотные древостои в результате излишне интенсивных промежуточных рубок.

Таким образом, при интенсивном лесовыращивании для условий таежной зоны Сибири просматриваются три периода оценки успешности этого процесса: смыкание молодняка (5...10 лет), окончательное формирование состава древостоя (30...50 лет), формирование спелого древостоя (70...100 лет).

Помимо конкретных лесоводственных критериев по каждому из выделенных этапов должен быть простой и прозрачный экономический механизм, гарантирующий успешность формирования целевых лесов. В качестве такового, например, могут выступать залоговые платежи со стороны лесопромышленных компаний, поступающие на отдельные счета. Эти средства выступают в качестве залога того, что компания обеспечит формирование целевых лесов. Кроме того, и это главное, финансовое обеспечение возвращается компании по мере того, как будут достигаться запланированные показатели. Отсутствие такого или подобного экономического механизма существенно сокращает возможности интенсификации лесовыращивания в лесопромышленных районах. Существует риск вырубки оставшихся производительных первичных ле-

сов прежде, чем наступит второй этап, по которому можно оценить, насколько успешным оказались мероприятия по восстановлению лесов заданного целевого состава.

Существенным недостатком «Концепции...» и «Дорожной карты...» является акцент на существующие лесопромышленные районы, в которых, по-прежнему, абсолютно доминирует пионерное освоение первичных лесов. При этом темпы их освоения и потери от лесных пожаров свидетельствуют о том, что в ближайшие 20...30 лет промышленные запасы древесины в них иссякнут. Кроме того, разреженная дорожная сеть, невысокая плотность населения, и в силу этого неразвитость внутреннего рынка, делают невозможным на этой территории ведение традиционного лесного хозяйства даже в отдаленной перспективе.

Однако даже в условиях Сибири, в зоне южной тайги и лесостепи, где проживает основное количество населения, где сосредоточены крупные промышленные центры, где имеется развитая транспортная и перерабатывающая инфраструктура и достаточно емкий рынок продукции деревообработки, имеются возможности для интенсификации лесопользования. В результате длительного периода эксплуатации на этой территории сформировались вторичные леса, которые как раз и являются потенциальным перспективным объектом интенсификации лесопользования. В настоящее время их эксплуатация представляет преимущественно выборочное хозяйство, направленное на удовлетворение местных потребностей, в основном, в хвойной древесине. Поэтому ведущими сортами являются крупный и средний пиловочник, который заготавливается в процессе рубок ухода и санитарных рубок. Такой характер лесопользования не обеспечивает в полной мере использование лесорастительного потенциала территорий и не способствует формированию высокопродуктивных насаждений.

Но, именно здесь есть все возможности для интенсификации лесопользования путем проведения различных видов реконструктивных рубок и замены низкопродуктивных мягколиственных лесов на высокопродуктивные хвойные, которые были вырублены в ходе промышленного освоения Сибири. Причем затраты на реконструкцию этих лесов будут существенно ниже, чем на выращивание целевых лесов в лесопромышленных районах с учетом существующего в этой зоне экономического потенциала. Вдобавок и древесина лиственных пород здесь, в отличие от лесопромышленных северных районов, имеет хоть и ограниченный, но сбыт, который будет возрастать с развитием технологий глубокой переработки древесины. Ну и наконец, лесорастительные условия в этой зоне Сибири отличаются большей производительностью, что позволяет увеличить объемы промежуточного пользования и финальной рубки по сравнению с традиционными лесопромышленными районами [5, 6].

Особняком даже в этом ряду стоят леса, формирующиеся на землях, вышедших из-под сельскохозяйственного использования (заросшие лесной расти-

тельностью пашни, сенокосы и пастбища), являющие собой уникальный резерв для выращивания высокопроизводительных хвойных лесов. Во-первых, практически все они расположены на транспортно-освоенной территории, во-вторых – эти земли отличаются большей потенциальной продуктивностью по сравнению с лесными землями. Формирующиеся на этой территории насаждения в большинстве своем представлены лиственными молодняками с участием хвойных пород. Затраты на их реконструкцию значительно ниже, чем в лесопромышленных районах и во вторичных лесах южно-таежной и лесостепной зон.

В южной части Сибири имеются значительные площади с благоприятными лесорастительными условиями, часть из них относится к заброшенным землям сельскохозяйственного назначения либо к землям лесного фонда, на большей части которых в настоящее время сформированы вторичные мягколиственные леса. Такие земли являются первоочередными объектами лесохозяйственного освоения с запуском технологий интенсивного лесовыращивания и реформирования древостоев, гарантирующих качественное воспроизводство целевых пород.

Приступая к реализации в располагающей значительными ресурсами Сибири положений «Концепции интенсификации использования и воспроизводства лесов», необходимо комплексно проработать направления деятельности, связанные с плантационным лесовыращиванием. По данному направлению спектр проблемных вопросов весьма широк, начиная от возможностей использования земель сельскохозяйственного назначения для выращивания древесины и заканчивая разработкой и внедрением современных инновационных технологий ускоренного выращивания древостоев.

Нельзя забывать и об экономических механизмах этого процесса, в которых краеугольным камнем является повышение доходности лесного сектора для государства. Прежде всего это изменение в сторону повышения ставок платы за древесину на корню и порядка их определения, который не имеет сейчас реального экономического обоснования. Причем доводы о том, что повышение базовых ставок на древесину чрезмерно увеличивает стоимость конечного продукта для населения, не подкреплены экономическими расчетами. Уровень ренты, получаемой от эксплуатации лесных ресурсов бизнесом, но не государством, является одним из самых высоких применительно к природным ресурсам.

Так, даже в таком дотационном регионе, как Республика Тыва, плата за древесину на корню редко превышает 70 р./м<sup>3</sup>. Стоимость бревна, вывезенного из леса, увеличивается уже в 15–20 раз, а пиломатериалы обходятся населению уже в 7 тыс. р./м<sup>3</sup>, т. е. стоимость продукции первичной обработки древесины по сравнению с уплаченной государству суммой возрастает в 100(!) раз. Для сравнения при ставке налога на добычу полезных ископаемых (НДПИ), например, угля – 24 р./т, его цена для потребителя в районах добычи редко превышает 2 тыс. р./т, что сопоставимо с аналогичным показателем для древесины.

И это при том, что добыча угля требует огромных капитальных вложений в создание инфраструктуры, включая транспортную, и поддержания высокого уровня операционных затрат.

В таких условиях говорить об интенсификации, рациональном использовании лесного фонда не приходится. Экономически выгоднее брать одно, максимум два бревна из дерева, оставляя все остальное на лесосеке, и везти их за 200 км до пункта отгрузки, чем заниматься рациональным использованием заготовленной древесины, не говоря уже о комплексном ее использовании.

Хочется надеяться, что реализация «Концепции интенсификации использования и воспроизводства лесов» не ограничится декларативными призывами к переходу на интенсивную модель развития и не позволит лесопромышленным компаниям решать свои текущие проблемы лесобеспечения в ущерб долгосрочным интересам всего лесного сектора страны. Рассматриваемый документ должен стать платформой широкого обсуждения и комплексного решения проблем лесного сектора великой лесной державы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Кашипор Н.Н.* Воспроизводство лесов: состояние и перспективы// Российская лесная газета. 2006. 22 мая (№ 18–19(148–149)).
2. *Мелехов И.С.* Лесоведение и лесоводство. М.: Лесн. пром-сть, 1972. 177 с.
3. *Моисеев Н.А.* Модель стабильного развития//Лесная Россия. 2007. № 7. С. 10–15.
4. *Морозов Г.Ф.* Учение о типах насаждений. М.; Л.: Сельхозгиз. 1930. 411 с.
5. *Онучин А.А., Соколов В.А., Вараксин Г.С., Втюрина О.П., Соколова Н.В.* Перспективы интенсификации лесовыращивания в Сибири//Вестн. КрасГАУ. 2012. № 4. С. 142–147.
6. *Онучин А.А., Соколов В.А., Втюрина О.П.* Перспективы интенсификации лесного хозяйства в Сибири//Лесн. хоз-во. 2010. № 6. С. 11–12.
7. *Петрунин Н.Н.* Лесное бездорожье России//Дерево.ru. 2013. № 5. С. 30–33.
8. Прогноз развития лесного сектора РФ до 2030 г.//Продовольственная и сельскохозяйственная организация объединенных наций (ФАО). Рим, 2012. 86 с.
9. *Романюк Б.Д.* Требования к нормативам для экономически обоснованной модели лесопользования // Интенсивное устойчивое лесное хозяйство: барьеры и перспективы развития: сб. ст./Под ред. Н. Шматкова. М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2013. С. 9–20.
10. *Ткаченко М.Е.* Общее лесоводство. Л.: Гослестехиздат, 1939. 746 с.
11. *Шутов И.В.* Лес и дендрополе//Тр. СПб НИИЛХ. 2014. № 2. С. 37–42.

Поступила 20.05.14

UDC 630\*6

**Conceptual Approach to the of Intensification of Forests Use and Re-Forestation in Siberia**

*A.I. Bondarev<sup>1</sup>, Candidate of Agricultural Sciences*

*A.A. Onuchin<sup>1,3</sup>, Doctor of Biological Sciences*

*V.V. Chitorkin<sup>2</sup>, Candidate of Biological Sciences*

*V.A. Sokolov<sup>1</sup>, Doctor of Agricultural Sciences*

<sup>1</sup>V.N. Sukachev Institute of Forest, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Akademgorodok, 50/28, Krasnoyarsk, 660036, Russian Federation; e-mail: abondarev@ksc.krasn.ru

<sup>2</sup>Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation, Bolshaya Gruzinskaya str., 4/6, Moscow, 123995, Russian Federation; e-mail: Chitorkin0210@mail.ru

<sup>3</sup>Siberian State Technology University, Mira Av., 82, Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation; e-mail: onuchin@ksc.krasn.ru

Wide discussion on the topic of intensification of the forest management occurs among the forest experts in Russia. New phase of the debates was raised after the presentation by the Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation of "The Concept of the Intensification of Forest Use and Reforestation" and "The Roadmap ..." on concept of their implementation. Expert opinions ranges from the intensification of forestry across the country to a narrower segment, namely the forest use on the leased areas, which traditionally includes the full cycle of reforestation, forest cultivation and final harvesting of timber within the cutting cycle. Four parameters are proposed to characterize the intensive forest management: full utilization of the incremental growth of forest stands throughout the forest growing cycle; road network density, which determines the availability of forests for timber exploitation; the success of reforestation by the target species and the minimization of the loss of wood resource to the age of final felling due to the effective protection of forests from fires, pests and diseases. The territory of the intensive forest management should be detached as a separate subcategory within the category of commercial forests taking into account the necessity of the development of special regulatory regime for the intensive forest management zone. Three periods for the taiga zone of Siberia are proposed to evaluate the success of the formation of the target species structure under the intensive forest management: the period of canopy closure of a young forest (5...10 years), the period of final shaping of the forest species structure (30...50 years) and the period of mature forest forming (70...100 years). Mortgage payments by timber companies are proposed as an economic instrument for ensuring this process, which are returned, when quantitative and qualitative parameters of forests for each of those periods will be achieved. The benefits of the intensive forest management in the secondary forests and on the lands of previous agricultural use in the southern taiga and the forest-steppe subzones in comparison with felling of the primary forests in a mid-taiga subzone include the high forests potential, developed network of roads, availability of labor resources and processing plants, customer intimacy, availability of market for softwood timber species.

*Keywords:* intensive forest management, cutting cycle, target species composition, final felling.

REFERENCES

1. Kashpor N.N. Vosproizvodstvo lesov: sostoyanie i perspektivy [Reforestation: Status and Prospects]. *Rossiyskaya lesnaya gazeta*, 2006, no. 18–19, pp. 148–149.
2. Melekhov I.S. *Lesovedenie i lesovodstvo* [Forest Science and Forestry]. Moscow, 1972. 177 p.
3. Moiseev N.A. Model' stabil'nogo razvitiya [Model of Forest Sustainable Development]. *Lesnaya Rossiya*, 2007, no. 7, pp. 10–15.
4. Morozov G.F. *Uchenie o tipakh nasazhdeniy* [Doctrine on Types of Forest]. Moscow, Leningrad: Selkhozgiz, 1930. 411 p.
5. Onuchin A.A., Sokolov V.A., Varaksin G.S., Vtyurina O.P., Sokolova N.V. Perspektivy intensivifikatsii lesovyrashchivaniya v Sibiri [Prospects of Intensification of Forest Cultivation in Siberia]. *Vestnik KrasGAU* [The Bulletin of KrasGAU], 2012, no. 4, pp. 142–147.
6. Onuchin A.A., Sokolov V.A., Vtyurina O.P. Perspektivy intensivifikatsii lesnogo khozyaystva v Sibiri [Prospects of Intensification of Forest Management in Siberia]. *Lesnoe khozyaystvo*, 2010, no. 6, pp. 11–12.
7. Petrunin N.N. Lesnoe bezdorozh'e Rossii [Impassable Roads in Russian Forests]. *Derevo.ru*, 2013, no. 5, pp. 30–33.
8. Prognoz razvitiya lesnogo sektora Rossiyskoy Federatsii do 2030 goda [Forecast of Development of the Forest Sector of the Russian Federation until 2030]. *Prodovol'stvennaya i sel'skokhozyaystvennaya organizatsiya ob"edinennykh natsiy* [Food and Agriculture Organization of the United Nations]. Rome, 2012. 86 p.
9. Romanyuk B.D. Trebovaniya k normativam dlya ekonomicheski obosnovannoy modeli lesopol'zovaniya [Requirements to Normative Standards for Economically Sound Forest Management Model]. *Intensivnoe ustoychivoe lesnoe khozyaystvo: bar'ery i perspektivy razvitiya* [Intensive Sustainable Forestry: Barriers and Prospects of Development: Collected Works]. Ed. by N. Shmatkov. World Wildlife Fund (WWF). Moscow, 2013, pp. 9–20.
10. Tkachenko M.E. *Obshchee lesovodstvo* [General Forestry]. Leningrad: Goslestekhzdat, 1939. 746 p.
11. Shutov I.V. Les i dendropole [Forest and Plantation]. *Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo hozjajstva* [St. Petersburg Research Institute of Forestry: Collected papers]. St. Petersburg, 2014, no. 2, pp. 37–42.

Recieved on May 20, 2014

DOI:10.17238/issn0536-1036.2015.6.25

---

УДК 581.526.426.2

**КАМБИАЛЬНАЯ ЗОНА – ОСНОВНАЯ МИШЕНЬ  
ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ  
НА ФОРМИРОВАНИЕ ГОДИЧНЫХ КОЛЕЦ ХВОЙНЫХ\***

© *Е.А. Бабушкина, канд. биол. наук, доц.*

*Л.В. Белокопытова, ст. науч. сотр.*

Сибирский федеральный университет, пр. Свободный, 79, г. Красноярск, Россия,  
660041; e-mail: babushkina70@mail.ru

Проведено исследование влияния внешних и внутренних факторов на процессы формирования годичных колец для трех видов хвойных (*Larix sibirica*, *Pinus sylvestris*, *Picea obovata*), произрастающих на двух участках с различной степенью почвенного увлажнения в лесостепной зоне Южной Сибири. Получены и рассмотрены индексированные хронологии ширины годичных колец и нормированные хронологии анатомических характеристик клеток древесины (количество клеток в годичном кольце, их радиальные размеры, толщина стенок). Данные характеристики являются результатами трех этапов дифференцировки клеток. Нормировка клеточных хронологий к 15 клеткам была проведена для возможности сравнения годичных колец с разным количеством клеток. Были выявлены и математически описаны взаимосвязи между исследованными характеристиками древесины. Ширина годичных колец зависит от продукции клеток (т. е. от их количества) и фактически является результирующей характеристикой этого этапа дифференцировки клеток, судя по очень высокому уровню достоверности линейной аппроксимирующей функции. Радиальный размер клеток также существенно зависит от их продукции, эта зависимость нелинейная и аппроксимируется экспоненциальной функцией. Связь между размером клетки и толщиной ее стенки более сложная, для ее аппроксимации были использованы полиномиальные функции. На основе этих соотношений предложена методика индексирования хронологий анатомических характеристик клеток. Были проанализированы статистические характеристики измеренных и индексированных хронологий (коэффициенты чувствительности, межсериальные коэффициенты корреляции, стандартные отклонения). Также проведен корреляционный анализ взаимосвязей разных характеристик между собой и одинаковых характеристик клеток, расположенных в разных частях годичного кольца. Результаты показали, что общий внешний сигнал наиболее сконцентрирован в камбиальной зоне, в процессе формирования клеток непосредственное влияние внешних факторов на их характеристики ослабевает. Для дендроклиматологии результаты данной работы дают методические приемы выделения влияния текущих климатических условий на анатомические характеристики клеток, что может быть использовано для реконструкции оказывающих значимое влияние на формирование древесины климатических факторов.

*Ключевые слова:* лиственница, сосна, ель, ксилема, ширина годичных колец, процессы дифференцировки клеток, радиальный размер клеток, толщина клеточной стенки.

---

\* Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФИ 15-04-01628А и научной школы НШ-3297.2014.4.

*Введение*

Радиальный прирост хвойных происходит путем формирования годичного кольца из клеток ксилемы, порожденных камбием. В этом процессе каждая клетка проходит три последовательных этапа, разделенных в пространстве: 1) продукции, т. е. деления клеток в камбиальной зоне; 2) радиального роста растяжением; 3) утолщения клеточной стенки и лигнификации [2, 11]. Формирующееся годичное кольцо состоит из зон, соответствующих этим этапам. Их сроки для каждой клетки сдвинуты по отношению к предыдущей [10, 12, 15], поэтому в окончательных анатомических характеристиках клеток (их количестве, радиальном размере и толщине стенки соответственно) последовательно записывается информация об условиях внешней среды, оказывающих влияние на формирование ксилемы [2, 5, 11].

Исследования ксилогенеза и механизмов влияния на него внешних и внутренних факторов в течение сезона важны для моделирования роста дерева, реконструкции климата и других задач физиологии и экологии древесных растений, но пока еще далеки от завершения [13]. Важно понять, какое влияние факторы внешней среды оказывают на разных этапах дифференцировки, а также имеются ли между этапами внутренние зависимости. В пользу первоначального предположения о независимости этапов дифференцировки клеток друг от друга и равной степени влияния на них текущих факторов окружающей среды [8] свидетельствуют генетически и биохимически обусловленные общие черты строения клеток [14]. Позднее была выдвинута гипотеза, что основной мишенью влияния внешних факторов является продукция клеток в камбиальной зоне, затем это влияние передается на последующие этапы [15], а воздействие текущих внешних условий на этих этапах выражено в меньшей степени [2, 14]. Эта гипотеза подтверждается, например, прямыми экспериментами по нагреванию стволов ели обыкновенной: в первой части сезона роста повышение температуры увеличивало скорость деления клеток, но в конце вегетационного периода не влияло на процессы роста ксилемы [6].

Для прояснения этого вопроса была поставлена задача – оценить степень влияния внутренних и внешних факторов на процессы дифференцировки трахеид на примере природно-климатических условий, характеризующихся комплексным влиянием экологических факторов в течение всего вегетационного сезона.

*Материалы и методы*

В работе использованы керны, собранные на двух участках с контрастными локальными условиями (в основном по увлажнению почвы) в лесостепи южной Сибири (54°20' с.ш. 89°44' в.д.): 1) на склоне холма южной ориентации – лиственница сибирская (*Larix sibirica* Ledeb.) LS1 и сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) PS1; 2) в пойме ручья у подножия этого же холма – лиственница LS2 и ель обыкновенная (*Picea obovata* Ledeb.) PO2.



Сбор, транспортировку, обработку кернов, измерение и индексирование ширины годичных колец (tree ring width – TRW) проводили по стандартным методикам дендрохронологии [4] с помощью установки LINTAB-3 и программного пакета DPL. Для исследования клеточной структуры годичных колец керны (по 5 образцов на выборку) размягчали кипячением в воде и на санном микротоме получали тонкие срезы (20 мкм). На микрофотографиях срезов измеряли следующие характеристики структуры колец за 1969–2008 гг.: количество клеток ( $N$ ), их радиальные размеры ( $D$ ), толщина клеточной стенки (cell wall thickness – CWT) [8] для 5 рядов с усреднением. Для возможности сравнения структуры колец с разным  $N$  исходные ряды измерений нормировали к 15 клеткам [3].

Что касается внутрисезонной изменчивости размера клеток, установлено, что в ранней древесине значения  $D$  максимальны, затем постепенно уменьшаются. Изменчивость CWT имеет более сложный характер: в ранней древесине наблюдаются наименьшие значения, затем толщина стенки увеличивается, достигает максимума и вновь уменьшается в последних клетках. Структура древесины лиственницы отличается большей амплитудой изменчивости этих характеристик и (в данных условиях) большей долей поздней древесины.

Для оценки вклада внешних условий в изменчивость характеристик годичных колец применяли индексирование исходных измерений относительно временных трендов по следующей формуле

$$G_i = G_{\text{эксп}}/G_{\text{т}}, \quad (1)$$

где  $G_i$  – индекс;

$G_{\text{эксп}}$  – измеренное значение;

$G_{\text{т}}$  – теоретическое значение [4].

Индексированные значения безразмерны, а их статистические характеристики сопоставимы между собой. Влияние внешних факторов оценивали, анализируя статистические характеристики индексированных и исходных локальных (усредненных) хронологий (коэффициент чувствительности – отзывчивость на погодичные, в основном климатические изменения; стандартное отклонение – диапазон изменчивости; межсерийный коэффициент корреляции – согласованность в изменчивости между деревьями) [4], а также корреляционные связи между характеристиками до и после индексирования.

#### *Результаты и обсуждение*

Влияние внутренних факторов на процесс дифференцировки наиболее явно выражается через взаимосвязи (функциональные зависимости) между характеристиками древесины, фиксирующими результаты отдельных этапов этого процесса. Зависимость между продукцией клеток за сезон  $N$  и шириной годичного кольца TRW практически линейная (рис. 1, а), несмотря на вариацию количества клеток на 2-3 клетки в отдельных радиальных рядах, что характерно не только для данного материала, но подтверждается и другими работами [15].

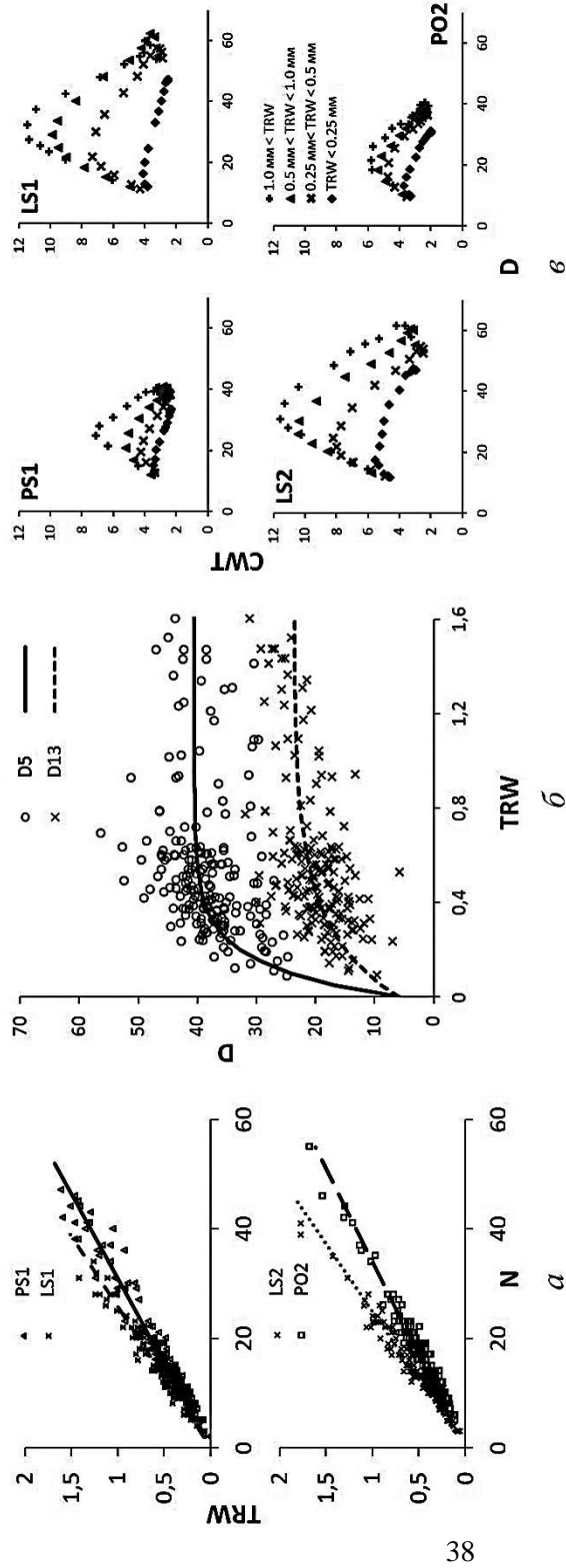


Рис. 1. Зависимость между характеристиками древесины: *a* – ширина годичных колец от количества клеток; *b* – радиальный размер от ширины годичных колец (на примере 5 и 13 клеток нормированной трахеидограммы сосны); *v* – толщина клеточной стенки от радиального размера и ширины годичных колец (обозначения видов и участков приведены в тексте; ширина годичных колец в миллиметрах; анатомические характеристики клеток в микрометрах)

Углы наклона линейной функции (т. е. средний размер трахеид за весь рассматриваемый период) составили 0,039...0,040 для лиственницы и 0,029...0,032 для вечнозеленых видов с уровнем достоверности  $R^2 = 0,95...0,96$ , различия в размерах трахеид могут быть обусловлены видовыми особенностями [1]. Вследствие линейной связи с числом клеток TRW также может рассматриваться как результирующая характеристика первого этапа дифференцировки – продукции клеток [3]. Также этот факт является свидетельством функционального ограничения изменчивости размеров клеток, обеспечивающего стабильность структуры древесины в течение жизни дерева [10].

Радиальный размер клеток  $D$  существенно зависит от ширины годичных колец TRW (рис. 1, б), эта зависимость нелинейная и может быть аппроксимирована экспоненциальной функцией, ранее использованной другими авторами для максимальной плотности древесины и ширины поздней древесины [7, 9]:

$$D(\text{TRW}) = D_0 + (D_{\max} - D_0) (1 - e^{-a\text{TRW}}), \quad (2)$$

где  $D_0$  – минимальное значение радиального размера (соответствует размерам камбиальных клеток – 7...8 мкм);

$D_{\max}$  – максимальное значение радиального размера в широких кольцах;

$a$  – коэффициент при экспоненте, показывающий, насколько быстро  $D$  стабилизируется при увеличении TRW.

Адекватность выбора функции и подобранных коэффициентов подтверждается низкими среднеквадратическими отклонениями измеренных данных от теоретических кривых (не более 1,02 мкм). Однако невысокая степень достоверности аппроксимации ( $R^2 \leq 0,4$ ) указывает на то, что, кроме продукции клеток, на рост клеток растяжением значимо влияют и текущие изменения окружающей среды. Функции (2), рассчитанные для каждой клетки нормированной трахеидограммы для всего периода по 5 индивидуальным хронологиям, были использованы при индексировании  $D$  по формуле (1) как теоретические значения.

Толщина клеточной стенки CWT, как результат последнего этапа дифференцировки, зависит не только напрямую от TRW, но и от  $D$  (рис. 1, в). Эта зависимость в пределах годичного кольца хорошо аппроксимируется полиномиальной функцией третьего порядка. Согласно графическим и числовым данным, при уменьшении TRW кривая сглаживается, максимальные абсолютные значения CWT уменьшаются. Таким образом, для удаления влияния предыдущих этапов дифференцировки при индексировании хронологий CWT по формуле (1) в качестве теоретических значений использовали аппроксимирующие полиномы, построенные индивидуально для каждого дерева и годичного кольца.

Анализ корреляционных связей между клеточными хронологиями и шириной годичного кольца (см. таблицу) подтвердил, что при принятой методике индексации влияние предшествующих этапов дифференцировки подавляется.

**Коэффициенты корреляции между локальными хронологиями  
различных характеристик годичного кольца до и после индексирования**

Хронологии	Вид и участок			
	PS1	LS1	LS2	PO2
$D \times TRW$	<b>0,45...0,67</b>	0,18... <b>0,78</b>	0,08... <b>0,82</b>	0,18... <b>0,76</b>
$D_i \times TRW$	-0,22... <b>0,37</b>	<b>-0,39</b> ...0,25	-0,32...0,30	<b>-0,35</b> ...0,24
$CWT \times TRW$	0,28... <b>0,78</b>	<b>0,57</b> ... <b>0,86</b>	0,01... <b>0,76</b>	<b>0,38</b> ... <b>0,73</b>
$CWT_i \times TRW$	-0,26...0,24	-0,09...0,25	-0,15...0,14	-0,21...0,24
$CWT \times D$	-0,24... <b>0,63</b>	-0,02... <b>0,83</b>	-0,12... <b>0,92</b>	<b>0,56</b> ... <b>0,88</b>
$CWT_i \times D$	-0,09...0,29	-0,11...0,30	-0,05...0,22	0,01...0,32

Примечание. Нижним индексом  $i$  отмечены индексированные хронологии, полужирным шрифтом – значения коэффициентов корреляции, значимые при  $p < 0,05$ .

Следовательно, полученные индексированные хронологии могут рассматриваться как независимые от предшествующих этапов, а значит их статистические характеристики отражают влияние внешних факторов непосредственно на текущий процесс – растяжения клеток для  $D$  и нарастания вторичной клеточной стенки для  $CWT$ . Значимые и тесные корреляционные коэффициенты между результатами клеточной продукции и последующих этапов дифференцировки клеток (по измеренным хронологиям) указывают на наличие здесь причинно-следственных взаимосвязей. После выхода клетки из камбиальной зоны, вероятно, запускается необратимый и отчасти генетически детерминированный процесс.

Затем для индексированных кривых оценивали статистические характеристики (рис. 2).

Межсерийные коэффициенты корреляции наиболее высоки для ширины годичных колец, т. е. для продукции клеток. Для индексированных хронологий радиального размера и толщины клеточной стенки межсерийная корреляция также достаточно высока и указывает на присутствие общего отклика на текущие внешние условия, однако она снижена по сравнению с измеренными хронологиями. Коэффициенты чувствительности хронологий клеточных характеристик изначально намного ниже, чем ширины годичных колец, что объясняется функциональным ограничением изменчивости клеточной структуры [10]. После индексирования чувствительность радиального размера снижается незначительно в отличие от толщины клеточной стенки, особенно, в поздней древесине. Вклад влияния климатических факторов в изменчивость характеристик годичного кольца также можно оценить через стандартное отклонение индексированных хронологий, которая также наиболее значительна для продукции и сильно понижается для последующих этапов дифференцировки и их результатов. Уменьшение значений стандартных отклонений более ярко выражено у вечнозеленых (сосна и ель): по сравнению с шириной годичного кольца стандартное отклонение радиальных размеров клеток меньше в 3–5 раз, а толщины клеточных стенок – в 4–6 раз. Для лиственницы различия между характеристиками несколько ниже (соответственно в 2–4 и 3–5 раз), что связано с большей изменчивостью ее клеточных характеристик, как в течение сезона, так и погодичной [1].

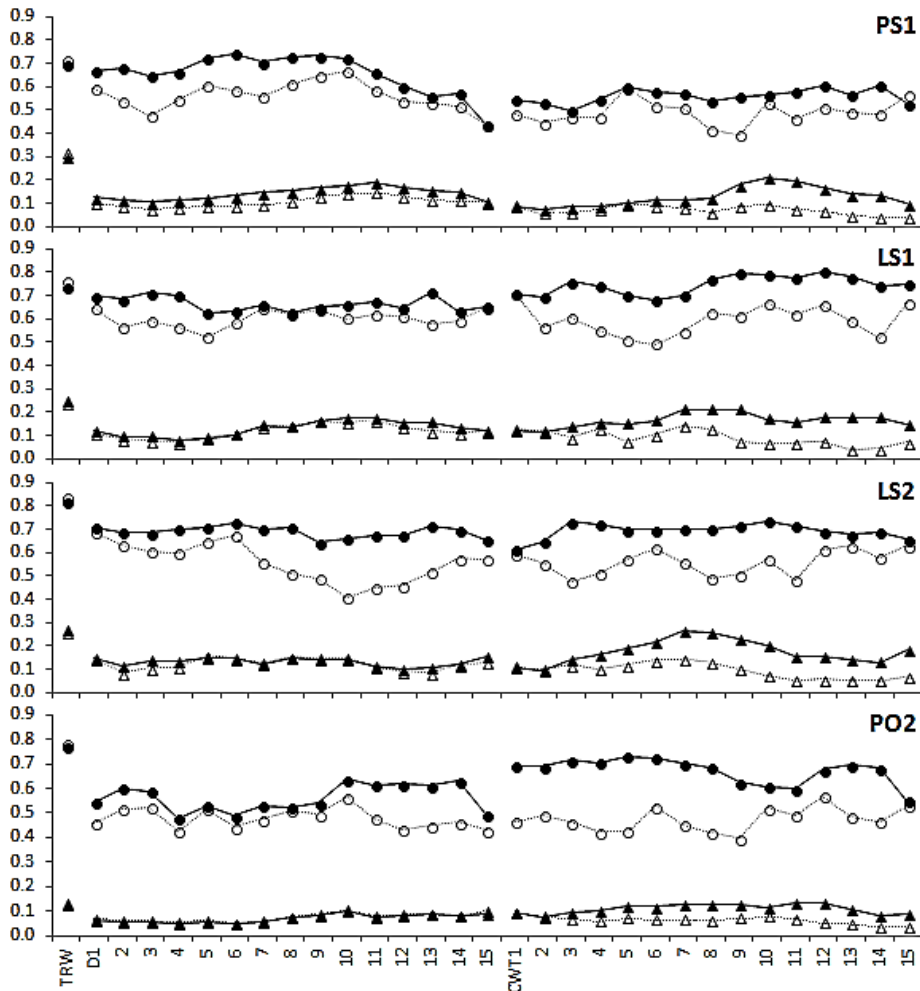


Рис. 2. Средние межсерийные коэффициенты корреляции (● ○) и коэффициенты чувствительности (▲ △), рассчитанные для измеренных (● ▲) и индексированных (○ △) хронологий TRW и нормированных клеточных характеристик ( $D1...15$ ,  $CWT1...15$ )

Все рассмотренные статистические характеристики древесно-кольцевых хронологий показывают, что после удаления взаимосвязей между тремя характеристиками наблюдается последовательное ослабление внешнего сигнала на текущие условия по мере прохождения клетками этапов дифференцировки: продукции (деления в камбиальной зоне), растяжения и формирования клеточной стенки.

Поскольку процессы растяжения клеток и утолщения клеточной стенки растянуты во времени и в этих зонах могут находиться несколько клеток одновременно, представляло интерес оценить корреляции между индексирован-

ными значениями одной характеристики для разных клеток трахеидограммы. Данные свидетельствуют, что радиальные размеры значимо коррелируют при  $p < 0,05$  в пределах 2–5 клеток (для соседних клеток  $R = 0,60 \dots 0,93$ ). По толщине стенки корреляции значимы не во всех случаях даже для соседних клеток ( $R = 0,05 \dots 0,70$ ). Это тоже является свидетельством того, что более поздний этап формирования клетки находится под более сильным влиянием внутренних факторов.

Таким образом, полученные нами результаты свидетельствуют о том, что камбиальная зона, т. е. продукция клеток, является основной мишенью воздействия внешних факторов, которое затем трансформируется на дальнейшие процессы дифференцировки клеток ксилемы [15]. По мере дифференцировки клеток биосинтетические процессы и их результаты все более и более находятся под контролем внутренних факторов.

Практическое значение представленной работы связано с применением нового метода индексирования клеточных характеристик в целях подавления сигнала, обусловленного иерархией контроля дифференцировки клеток ксилемы, т. е. влиянием процессов в камбии на последующие этапы созревания клеток ксилемы, выделение сигнала, связанного с влиянием текущих внешних условий на рост клеток растяжением и утолщение клеточной стенки. Предлагаемые способы индексирования обосновывают использование клеточных характеристик как независимых от ширины годичных колец и друг от друга переменных, несущих дополнительную информацию о климатических факторах сезона роста.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абаимов А.П., Бондарев А.И., Зырянова О.А., Шитова С.А. Леса Красноярского Заполярья. Новосибирск: Наука, 1997. 208 с.
2. Ваганов Е.А., Шашкин А.В. Рост и структура годичных колец хвойных. Новосибирск: Наука, 2000. 232 с.
3. Ваганов Е.А., Шашкин А.В., Свидерская И.В., Высоцкая Л.Г. Гистометрический анализ роста древесных растений. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1985. 100 с.
4. Шиятов С.Г., Ваганов Е.А., Кирдянов А.В., Круглов В.Б., Мазена В.С., Наурзбаев М.М., Хантемиров Р.М. Методы дендрохронологии. Часть I. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации: учебно-метод. пособие. Красноярск: КрасГУ, 2000. 80 с.
5. Eilmann B., Zweifel R., Buchmann N., Graf Pannatier E., Rigling A. Drought alters timing, quantity, and quality of wood formation in Scots pine // Journal of Experimental Botany. 2011. N 62. P. 2763–2771.
6. Gricar J., Zupancic M., Cufar K., Oven P. Regular cambial activity and xylem and phloem formation in locally heated and cooled stem portions of Norway spruce // Wood Science and Technology. 2007. N 41. P. 463–475.
7. Kirilyanov A.V., Vaganov E.A., Hughes M.K. Separating the climatic signal from tree-ring width and maximum latewood density records // Trees. 2007. N 21. P. 37–44.

8. Larson P.R. The vascular cambium. Development and structure. Berlin: Springer-Verlag, 1994. 725 p.

9. Meko D.M., Baisan C.H. Pilot study of latewood-width of conifers as an indicator of variability of summer rainfall in the North American monsoon region // International Journal of Climatology. 2001. N 21. P. 697–708.

10. Olano J.M., Eugenio M., García-Cervigón A.I., Folch M., Rozas V. Quantitative tracheid anatomy of *Juniperus thurifera* reveals a complex environmental control of wood structure under continental Mediterranean climate // International Journal of Plant Sciences. 2012. 173. P. 137–149.

11. Rossi S., Deslauriers A., Anfodillo T. Assessment of cambial activity and xylogenesis by microsampling tree species: an example at the Alpine timberline//IAWA Journal. 2006. N 27. P. 383–394.

12. Rossi S., Deslauriers A., Grişar J., Seo J.-W., Rathgeber C.B., Anfodillo T., Morin H., Levanić T., Oven P., Jalkanen R. Critical temperatures for xylogenesis in conifers of cold climates // Global Ecology and Biogeography. 2008. Vol. 17, iss. 6. P. 696–707.

13. Samuels A.L., Kaneda M., Rensing H. The cell biology of wood formation: from cambial divisions to mature secondary xylem // Canadian Journal of Botany. 2006. Vol. 84, N 4. P. 631–639.

14. Savidge R.A. Xylogenesis, genetic and environmental regulation // IAWA Journal. 1996. Vol. 17, N 3. P. 269–310.

15. Vaganov E.A., Anchukaitis K.J., Evans M. How well understood are the processes that create dendroclimatic records? A mechanistic model of the climatic control on conifer tree-ring growth dynamics // Dendroclimatology. Developments in Paleoenvironmental Research/Eds. M.K. Hughes, T.W. Swetnam, H.F. Diaz. 2011. Vol. 11, N 2. P. 37–75.

Поступила 10.12.14

UDC 581.526.426.2

### **Cambial Zone is the Main Target of External Factors Influence on the Conifers Tree-Ring Formation**

*E.A. Babushkina, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor*

*L.V. Belokopytova, Senior Research Officer*

Siberian Federal University, 79, Svobodny pr., Krasnoyarsk, 660041, Russian Federation; e-mail: babushkina70@mail.ru

The influence of external and internal factors on tree-ring formation processes was studied for three conifers species (*Larix sibirica*, *Pinus sylvestris*, *Picea obovata*) growing at two sites with different soil moisture levels in the forest-steppe zone of Southern Siberia. The indexed chronologies of tree-ring width and normalized chronologies of anatomical wood cell characteristics (number of cells in a tree-ring, radial diameter and cell wall thickness) were obtained and investigated. These anatomical characteristics reflect three stages of cell differentiation. In order to compare tree-rings with different cell numbers the procedure of normalizing cell chronologies to 15 cells per ring was performed. The interrelations between the investigated wood characteristics were revealed and mathematically described. The tree-ring width depends on cell production (i.e. on the number of cells in a ring), and is considered as a resulting characteristic of this stage of cell differentiation according to the very high significance level of the linear approximating function. The radial size of the cells sig-

nificantly depends on the cell production as well. It's a curvilinear relationship, which is approximated by an exponential function. The relationship between a size and cell wall thickness is more complicated. Polynomial functions have been used for its approximation. On the basis of these relationships the technique for indexing of the chronologies of cell characteristics was proposed. Statistical characteristics of measured and indexed chronologies (sensitivity coefficients, inter-series correlation coefficients and standard deviations) were analyzed. The correlation analysis of the relationship of different wood characteristics and the same characteristics of the cells located in different parts of a tree-ring was performed. The results show that the common external signal is mostly concentrated in the cambial zone and the direct influence of external factors on the formation of cells weakens. In terms of dendroclimatological applications the results of this paper provide methodological techniques for the extraction of the climate conditions influence on the cell anatomical characteristics. It can be used to reconstruct the climatic factors having a significant effect on wood formation.

*Keywords:* larch, pine, spruce, xylem, tree-ring width, cell differentiation processes, cell radial size, cell wall thickness.

#### REFERENCES

1. Abaimov A.P., Bondarev A.I., Zyryanova O.A., Shitova S.A. *Lesy Krasnoyarskogo Zapolyar'ya* [Arctic Forests of Krasnoyarsk]. Novosibirsk, 1997. 208 p.
2. Vaganov E.A., Shashkin A.V. *Rost i struktura godichnykh kolets khvoynykh* [Growth and Structure of Conifers Tree-Rings]. Novosibirsk, 2000. 232 p.
3. Vaganov E.A., Shashkin A.V., Sviderskaya I.V., Vysotskaya L.G. *Gistometricheskii analiz rosta drevesnykh rasteniy* [Histometric Analysis of Woody Plants Growth]. Novosibirsk, 1985. 100 p.
4. Shiyatov S.G., Vaganov E.A., Kirdeyanov A.V., Kruglov V.B., Mazepa V.S., Nurzbaev M.M., Khantemirov R.M. *Metody dendrokronologii. Chast' I. Osnovy dendrokronologii. Sbor i poluchenie drevesno-kol'tsevoy informatsii* [Methods of Dendrochronology. Part I. Basics of Dendrochronology. Data Collection and Receiving of Tree-Ring Information]. Krasnoyarsk, 2000. 80 p.
5. Eilmann B., Zweifel R., Buchmann N., Graf Pannatier E., Rigling A. Drought Alters Timing, Quantity, and Quality of Wood Formation in Scots Pine. *Journal of Experimental Botany*, 2011, no. 62, pp. 2763–2771.
6. Gricar J., Zupancic M., Cufar K., Oven P. Regular Cambial Activity and Xylem and Phloem Formation in Locally Heated and Cooled Stem Portions of Norway Spruce. *Wood Science and Technology*, 2007, no. 41, pp. 463–475.
7. Kirdeyanov A.V., Vaganov E.A., Hughes M.K. Separating the Climatic Signal From Tree-Ring Width and Maximum Latewood Density Records. *Trees*, 2007, no. 21, pp. 37–44.
8. Larson P.R. *The Vascular Cambium. Development and Structure*. Berlin, 1994. 725 p.
9. Meko D.M., Baisan C.H. Pilot Study of Latewood-Width of Conifers as an Indicator of Variability of Summer Rainfall in the North American Monsoon Region. *International Journal of Climatology*, 2001, no. 21, pp. 697–708.
10. Olano J.M., Eugenio M., García-Cervigón A.I., Folch M., Rozas V. Quantitative Tracheid Anatomy of *Juniperus thurifera* Reveals a Complex Environmental Control of Wood Structure Under Continental Mediterranean Climate. *International Journal of Plant Sciences*, 2012, no. 173, pp. 137–149.



11. Rossi S., Deslauriers A., Anfodillo T. Assessment of Cambial Activity and Xylogenesis by Microsampling Tree Species: an Example at the Alpine Timberline. *IAWA Journal*, 2006, no. 27, pp. 383–394.

12. Rossi S., Deslauriers A., Griçar J., Seo J.-W., Rathgeber C.B., Anfodillo T., Morin H., Levanic T., Oven P., Jalkanen R. Critical Temperatures for Xylogenesis in Conifers of Cold Climates. *Global Ecology and Biogeography*, 2008, vol. 17, iss. 6, pp. 696–707.

13. Samuels A.L., Kaneda M., Rensing H. The Cell Biology of Wood Formation: From Cambial Divisions To Mature Secondary Xylem. *Canadian Journal of Botany*, 2006, vol. 84, no. 4, pp. 631–639.

14. Savidge R.A. Xylogenesis, Genetic and Environmental Regulation. *IAWA Journal*, 1996, vol. 17, no. 3, pp. 269–310.

15. Vaganov E.A., Anchukaitis K.J., Evans M. How Well Understood are the Processes That Create Dendroclimatic Records? A Mechanistic Model of the Climatic Control on Conifer Tree-Ring Growth Dynamics. *Dendroclimatology: Progress and Prospects: Developments in Paleoenvironmental Research*, 2011, vol. 11, no. 2, pp. 37–75.

Received on December 10, 2014

DOI:10.17238/issn0536-1036.2015.6.35

---

УДК 630\*232

**СОХРАННОСТЬ И РОСТ КУЛЬТУР СОСНЫ,  
СОЗДАНЫХ ПОСАДОЧНЫМ МАТЕРИАЛОМ  
С ЗАКРЫТОЙ КОРНЕВОЙ СИСТЕМОЙ В УСЛОВИЯХ КАРЕЛИИ\***

© *А.И. Соколов, д-р с.-х. наук, доц.*

*В.А. Харитонов, вед. инж.*

*А.Н. Пеккоев, канд. с.-х. наук, науч. сотр.*

*Т.И. Кривенко, вед. инж.*

Институт леса КарНЦ РАН, ул. Пушкинская, 11, г. Петрозаводск, Россия, 185910;

e-mail: pek-aleksei@list.ru

В настоящее время при создании лесных культур на вырубках в России все шире применяется посадочный материал с закрытой корневой системой. В Карелии удельный вес лесных культур, созданных подобным посадочным материалом, в 2004 г. составлял 24 % общего объема посадок. Цель работы – оценка эффективности применения посадочного материала сосны с закрытой корневой системой в различных типах лесорастительных условий. Было обследовано 35 участков культур: 8 – в северной, 27 – в средней подзонах тайги. В северотаежной подзоне на вырубках сосняков воронично-брусничных и воронично-черничных основной отпад культур отмечен в первые три года после посадки. Причинами гибели сосны являлись повреждения большим сосновым долгоносиком и снежное шютте (фацидиоз). В среднетаежной подзоне на вырубках сосняков брусничных в первое десятилетие культуры сосны имели высокую приживаемость и сохранность – более 80 %. На вырубках сосняков и ельников черничных снижение приживаемости посадок на дренированных супесчаных почвах было вызвано большим сосновым долгоносиком, на суглинистых и влажных супесчаных – вымоканием культур, посаженных в микропонижения, образованные покровосдирателями. Причиной дальнейшего снижения сохранности в этих условиях являлось заглушение культур травянистой растительностью. На отдельных участках до 38 % посадок были повреждены почковым побеговьемом, что повлекло существенное снижение прироста сосны в высоту. На одном участке 6-летних культур наблюдались саблевидные искривления стволиков. Почвенные раскопки показали, что корневые системы растений были сильно деформированы. Это, вероятно, вызвано длительным содержанием семян в кассетах на площадке доращивания. Сохранность в культурах старше 10 лет варьировала в широких пределах – от 0 до 88 %. В основном она зависела от почвенного плодородия и качества лесоводственных уходов. В составе молодняков сосна искусственного происхождения преобладала только на участках, пройденных интенсивным осветлением. Поэтому для выращивания высокопродуктивных хвойных древостоев необходим своевременный и качественный уход за культурами сосны на всех этапах лесовыращивания.

*Ключевые слова:* культуры сосны, посадочный материал с закрытой корневой системой, сохранность.

---

\* Работа выполнена в рамках государственного задания Института леса КарНЦ РАН.

В России технологии создания культур посадкой предусматривают широкое использование сеянцев и саженцев с открытой корневой системой, которые в настоящее время стоят дешевле, но обладают рядом недостатков. Посадочный материал с закрытой корневой системой (ПМЗК) в опытном порядке начали применять с 1968 г. При данной технологии корни сеянцев с открытой корневой системой заделывали в субстрат и доращивали в нем до пересадки на лесокультурную площадь. За рубежом широкое распространение получил способ выращивания ПМЗК из семян в специальных ячейках или пластмассовых контейнерах. Этот способ более технологичен, позволяет рационально использовать семена и значительно сокращает срок выращивания посадочного материала. Корни контейнеризированных сеянцев защищены от подсушивания в период посадки, что является одной из основных причин снижения приживаемости культур при использовании сеянцев с открытой корневой системой. Применение контейнеризированных сеянцев облегчает посадку, снижает утомляемость рабочих, повышает производительность труда.

В настоящее время технология создания культур ПМЗК на вырубках начинает получать распространение в России. В Республике Карелия к 2004 г. доля лесных культур, созданных сеянцами с закрытой корневой системой составила 24 % от площади посадок [14]. Однако лесоводственная оценка эффективности применения ПМЗК в различных типах лесорастительных условий не проводилась. Объектом исследований в основном являлись посадки в условиях сосняков брусничных [16], и очень мало информации по сохранности и росту культур на вырубках сосняков и ельников черничных в условиях среднетаежной подзоны. А именно здесь сосредоточен основной лесокультурный фонд республики.

Имеются сведения, что ПМЗК, выращенный в теплицах, больше подвержен повреждению насекомыми, особенно большим сосновым долгоносиком, чем сеянцы с открытой корневой системой. По информации Т.А. Семановой [11], в странах Западной Европы этот вредитель ежегодно наносил серьезный ущерб лесному хозяйству. Корневые системы контейнеризированных сеянцев имеют мало микоризных окончаний [6]. Это может неблагоприятно сказаться на их сопротивляемости корневым гнилям, а следовательно, приживаемости посадок. Отмечаются случаи деформации корневых систем, что может отрицательно повлиять на устойчивость деревьев против ветровала. Все перечисленное указывает на необходимость оценки состояния производственных культур сосны, созданных ПМЗК.

Объектом исследований были производственные культуры сосны I класса возраста, созданные ПМЗК. Было обследовано 35 участков: 8 – в северотаежной, 27 – в среднетаежной подзоне. Обследования проводили общепринятыми методами с закладкой пробных площадей или учетных отрезков. Производили замеры высот, приростов в высоту, диаметров ствола у корневой шейки или на высоте 1,3 м, рассчитывали густоту, приживаемость (сохранность) культур, выявляли причины гибели растений. Породный состав и высоту подроста

хвойных и возобновления лиственных пород определяли на круговых учетных площадках.

В условиях северотаежной подзоны обследовано восемь участков культур сосны в возрасте 3...8 лет, созданных ПМЗК. Наиболее высокая их сохранность отмечена в 5-летних культурах на вырубке сосняка лишайникового. Незначительный отпад сосны (1 %) произошел в результате поражения ее снежным шютте (*Phacidium infestans* Karst). Такой минимальный урон от болезни в данных лесорастительных условиях связан с тем, что участок расположен на песчаной гряде, вытянутой с севера на юг. Это способствовало быстрому сходу снежного покрова и препятствовало развитию фацидиоза, но из-за бедности и сухости почвы культуры росли медленно и в 5-летнем возрасте средняя высота сосны здесь составляла около 40 см (табл. 1).

Таблица 1

**Сохранность и рост культур сосны на вырубках  
(северотаежная подзона)**

Бывший тип леса	Возраст культур, лет	Приживаемость (сохранность) культур, %	Густота стояния, тыс. шт./га	Высота, см	Диаметр <sub>к.ш.</sub> , мм
Сосняк лишайниковый	5	99	2,9	39±1,4	13,3±1,03
Сосняк воронично-брусничный	3	73	2,2	22±0,8	4,4±0,85
	4	94	2,8	30±0,9	9,9±0,77
	6	94	2,6	47±1,6	14,4±0,95
	8	60	1,7	45±0,7	15,2±1,15
Сосняк воронично-черничный	5	55	1,6	49±2,0	12,2±0,78
	7	87	2,4	101±2,8	27,8±1,19
	8	22	0,7	105±4,7	26,9±1,85

На вырубках сосняков воронично-брусничных и воронично-черничных основной отпад культур происходит в первые 3 года. Поскольку объектом исследования были культуры более старшего возраста, причины гибели сосны в первые 2 года после посадки установить не удалось. Наиболее вероятными причинами, судя по литературным источникам, могли быть повреждения культур болезнями (снежное шютте) и вредителями [4]. Это подтверждают данные обследования 3-летних культур сосны на вырубке сосняка воронично-брусничного. При учете культур в них насчитывалось 25 % сухих растений. У 17 % обследованных растений имелись следы старых погрызов большого соснового долгоносика (*Hylobius abietis* L.), значительная часть таких саженцев погибла. Причины отпада: 60 % – большой сосновый долгоносик, 13 % – снежное шютте (фацидиоз), 27 % – посадка в рыхлый органический субстрат (толстый слой лесной подстилки, рыхлые гребни, образованные покровосдирателями). Последнее указывает на слабую подготовку исполнителей по про-

ведению лесопосадочных работ и недостаточный контроль за качеством посадки.

В северотаежной подзоне численность большого соснового долгоносика, продолжительность его генерации и наносимый вред во многом зависят от погодных условий, прежде всего от температуры воздуха и почвы. На севере Карелии из-за недостатка тепла жизненный цикл жука обычно растягивается до 3 лет. В теплый летний сезон здесь создаются условия для вылета сразу двух поколений молодых жуков, которые повреждают культуры и подрост сосны в период дополнительного питания. Видимо, в этом, наряду с фацидиозом, одна из причин значительного колебания сохранности культур сосны, созданных ПМЗК в разные годы.

Большое влияние на сохранность культур сосны в северотаежной зоне оказывает рельеф местности. В пониженных местах и на северных склонах таяние снега задерживается, что способствует поражению сосны снежным шютте [4]. Посадки сосны в первые годы растут быстрее, чем посева, и раньше выходят из-под снежного покрова – зоны поражения хвои патогенным грибом. Редкое размещение растений, по сравнению с посевами, в посадках препятствует появлению очагов болезни. Поэтому посадки меньше подвержены поражению фацидиозом – наиболее распространенным в условиях северотаежной подзоны заболеванием [3].

По сравнению с сеянцами с открытой корневой системой у контейнеризированных сеянцев наличие торфяного субстрата способствует удержанию влаги вблизи корней сосны, что очень важно при создании культур на вырубках сосняков лишайниковых с бедными сухими почвами, особенно подвергнутых сильному огневому воздействию. Для повышения сохранности, улучшения роста и физиологического состояния культур сосны в этих условиях рекомендуется проводить санитарные уходы (уничтожение очагов снежного шютте) и подкормки минеральными удобрениями, а также выполнять профилактические мероприятия (обработка сеянцев перед посадкой пиретроидными препаратами) по защите от большого соснового долгоносика.

Опасность заглупления культур сосны травянистой растительностью в северотаежной подзоне существует в основном на луговиковых вырубках, которые формируются после рубки ельников черничных и елово-сосновых черничных лесов, где луговик присутствует под пологом древостоев [10]. Посадочные места здесь нельзя размещать в микропонижениях (по дну борозд или полос), где почва обеднена и может накапливаться избыток влаги. В северотаежной подзоне при посадке сосны ПМЗК на луговиковых вырубках возникает потребность в агротехническом уходе.

В среднетаежной подзоне обследовано 17 участков культур сосны (табл. 2) в возрасте до 10 лет. Все они созданы на свежих вырубках, в основном в первый сезон после рубки древостоя. Площадь вырубок в среднем составляла 4,0 га и колебалась в пределах от 1,0 до 18,7 га.

На вырубках сосняков брусничных приживаемость 1–2-летних культур высокая. Это объясняется хорошим качеством посадочного материала и проведением защитных профилактических обработок перед отправкой ПМЗК на лесокультурную площадь. Совместно с естественным возобновлением сосны густота 6–10-летних молодняков составляла 5,0...8,5 тыс. шт./га, что достаточно для формирования продуктивных хвойных древостоев. К концу первого десятилетия культуры достигали высоты 2,0...2,4 м (табл. 2) и из-за разницы в возрасте превосходили сосну естественного возобновления по высоте в 2,5 раза.

Таблица 2

**Сохранность, густота и рост культур сосны в возрасте до 10 лет,  
созданных ПМЗК (среднетаежная подзона)**

Бывший тип леса	Давность рубки, лет	Возраст культур, лет	Приживаемость (сохранность) культур, %	Густота стояния тыс. шт./га	Высота, см	Диаметр <sub>к.ш.</sub> , мм
Сосняк брусничный	1	1	97	4,2	12±0,6	4±0,3
	2	2	98	4,4	18±0,6	5±0,3
	6	6	73	2,7	80±2,6	24±1,6
	8	8	87	2,6	203±4,7	49±2,2
	10	10	83	2,5	242±16,3	52±6,0
Сосняк черничный	6	5	87	2,6	139±3,2	33±2,0
	6	6	80	2,4	163±3,7	28±1,6
	9	9	81	2,4	240±4,7	57±2,6
Ельник черничный	2	1	45	1,2	15±0,7	4±0,4
	2	2	45	1,3	10±0,8	5±0,5
	3	2	87	2,2	19±0,9	8±0,6
	4	2	70	2,1	24±0,8	7±0,4
	4	3	59	1,8	28±1,2	7±0,5
	5	3	96	2,7	60±1,6	15±0,9
	5	5	69	2,1	121±1,5	23±1,0
Березняк травяно-злаковый	6	6	67	2,0	82±3,4	24±1,0
	9	9	80	2,4	337±7,2	61±2,6

В черничных лесорастительных условиях приживаемость 1–3-летних посадок сосны составляла от 45 до 96 %, что повлияло на густоту культур, которая находилась в пределах от 1,2 до 2,7 тыс. шт./га. Отпад в посадках сосны ПМЗК на обследованных участках в основном шел в указанный период.

Анализ отпада выявил две главные причины гибели растений: на вырубках с хорошо дренированными песчаными и супесчаными почвами – это повреждение большим сосновым долгоносиком, на вырубках с суглинистыми и влажными супесчаными почвами – вымокание в результате временного переувлажнения почв в посадочных местах. В последнем случае посадку проводили в борозды (микроразмещения), образованные дисковыми покровосдира-

телями. Третья по значимости причина – заваливание культур опадом травы. Наиболее сильное развитие травостоя происходило на третий год после рубки древостоев, что согласуется с наблюдениями за динамикой живого напочвенного покрова на злаковых вырубках [5, 10].

На шестой год навал травы наблюдался только в отдельных посадочных местах. Следовательно, в черничных типах условий произрастания агротехнический уход за культурами сосны, созданными в первый год после рубки древостоя, необходимо планировать на 3...5-й годы, а в посадках на вырубках двулетней давности – со второго года. На вырубках 3–4-летней давности, где травостой достигает максимального развития, целесообразна замена механического способа обработки почвы химическим [2, 13]. В культурах, созданных ПМЗК, отмечено повреждение сосны почковым побеговыюном (*Evetria turionana* Hb.). В культурах второго и третьего годов оно в среднем составляло 14 % и варьировало по отдельным участкам от 0 до 38 %. Отмирание сосны по этой причине отмечено только на одном участке 2-летних культур, где погибло 5 % растений. Обычно повреждение побеговыюнами ведет к образованию многовершинности или потере прироста в высоту.

На одном участке 9-летних культур, растущих на вырубке березняка травяно-злакового, наблюдалось повреждение сосны пузырчатой ржавчиной (*Cronartium flaccidum* [Alb. et Schw.] Wint). Заболевание носило очаговый характер и вызвало гибель 1,6 % растений. Появление болезни, видимо, связано с наличием под пологом березняков травянистых растений, в частности марьяника полевого, являющегося промежуточным хозяином болезнетворного гриба [3].

Посадки сосны ПМЗК на вырубках ельников и сосняков черничных в большинстве случаев на пятый год достигают нормативной высоты, определенной отраслевым стандартом к переводу в покрытые лесом площади [9]. Исключением явился участок 6-летних культур (высота 0,8 м), где 75 % растений имели искривления стволика саблевидной и змеевидной формы. Почвенные раскопки показали, что условия для формирования корневой системы здесь благоприятны (дренированные песчаные почвы, отсутствие плотных прослоек и сильной каменистости). Однако корневые системы у указанных растений были сильно деформированы. Наиболее вероятной причиной деформации могло быть использование контейнеров небольшого объема [1], в которых своевременно нереализованные сеянцы длительный срок содержались на площадке доращивания. Известно, что деформация корневых систем сосны ведет к ухудшению ее роста, а в последующем – к снижению устойчивости культур и массовой гибели деревьев от снеговала и ветровала [12]. В связи с этим следует обратить внимание на сроки выдерживания сеянцев сосны на полигоне доращивания. Своевременно нереализованные сеянцы сосны следует использовать для закладки школьных отделений питомников. Культуры сосны, созданные саженцами, выращенными из 1-летних тепличных сеянцев в течение 2 лет в школьном отделении открытого грунта, в условиях Карелии обычно не нуждались в агротехнических уходах [15]. Это подтверждают данные Б.А. Мочалова [8], полученные в Архангельской области

на вейниковой вырубке с дерново-подзолистыми суглинистыми почвами. Наличие саблевидной формы ствола (изгиб базальной части) отмечено нами на пяти других обследованных участках культур в возрасте 5...9 лет, где оно отчетливо проявилось у 1...9 % растений. Изгиб базальной части ствола иногда наблюдается при посадке в край борозды или в случае развития асимметричной корневой системы вблизи валунов.

Главной причиной гибели культур в первые 3 года на вырубках ельников черничных было вымокание и в значительно меньшем количестве выживание на суглинистых почвах. Объясняется это тем, что для обработки почвы повсеместно используются покровосдиратели различных марок, которые создают микропонижения глубиной до 15...20 см, куда, как правило, высаживают сеянцы. Для повышения сохранности и интенсивности роста культур в этих условиях необходима обработка почвы микроповышениями и сброс излишков влаги [7]. В крайнем случае допустима посадка крупномерных саженцев по полосам, подготовленным химическим способом [13].

Результаты обследования лесных культур старше 10 лет (табл. 3) опровергают имеющееся мнение, что применение ПМЗК гарантирует высокую сохранность посадок. С улучшением лесорастительных условий прослеживалась зависимость снижения сохранности посадок, что связано с усилением отрицательного влияния на культуры сосны травянистой растительности и лиственных пород. Сосна искусственного происхождения преобладала только в составе молодняков, пройденных интенсивным осветлением.

Таблица 3

**Сохранность и рост 11–19-летних культур сосны, созданных ПМЗК  
(среднетаежная подзона)**

Бывший тип леса	Возраст культур, лет	Приживаемость (сохранность) культур, %	Густота стояния тыс. шт./га	Высота, м	Диаметр <sub>1,3</sub> , см	Состав
Сосняк брусничный	11	88	2,6	3,0	2,7±0,09	4C <sub>к</sub> 1C5Б
	15	62	1,7	5,1	7,0±0,26	8C <sub>к</sub> 1C1Б+E
	18	53	1,9	4,4	3,9±0,22	6C <sub>к</sub> 3Б1Ос+C
Сосняк черничный	13	74	2,9	4,8	5,5±0,17	10C <sub>к</sub> +Б
	15	80	2,0	4,4	5,7±0,20	9C <sub>к</sub> 1C+E+Б
	18	12	0,3	5,9	8,0±0,68	3C <sub>к</sub> 2Е5Б+Ос
Ельник черничный	11	22	0,8	2,4	1,8±0,29	7Б2Ос1C <sub>к</sub>
	14	63	1,9	4,8	6,7±0,39	9C <sub>к</sub> 1Б
Березняк чернично-травяной	19	0	0	–	–	9Ос1Б+E
	19	62	1,8	8,2	9,1±0,26	9C <sub>к</sub> 1Б

Таким образом, основные причины низкой сохранности посадок сосны, созданных ПМЗК, кроются в отсутствии или формальном выполнении агротехнических уходов, а также низкой интенсивности или отсутствии осветле-



ний, что ведет к отпаду и даже гибели культур. Поэтому для выращивания высокопродуктивных сосновых древостоев необходим своевременный и качественный уход за ее культурами на всех этапах лесовыращивания.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бараховский И.А., Горбоченко М.Е.* Развитие однолетних сеянцев некоторых хвойных пород интродуцентов в контейнерах различного объема / Технология создания и экологические аспекты выращивания высокопродуктивных лесных культур. СПб: ЛенНИИЛХ, 1992. С. 42–47.
2. *Егоров А.Б., Трофимов Л.Н.* Перспективы использования гербицидов при обработке почвы под культуры сосны и ели//Изв. СПбЛТА. 2009. Вып. 189. С. 70–80.
3. *Крутов В.И.* Грибные болезни хвойных пород в искусственных ценозах таежной зоны Европейского Севера СССР. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР, 1989. 208 с.
4. *Крутов В.И., Волкова И.П.* Лесопатологическое состояние естественного возобновления и лесных культур хвойных пород//Лесовосстановление в Карельской АССР и Мурманской области. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР, 1975. С. 122–179.
5. *Крышень А.М.* Структура и динамика растительного сообщества вейниковой вырубки в Южной Карелии. 1. Видовой состав//Ботан. журн. 2003. Т. 88, № 4. С. 48–62.
6. *Мартикайнен Н.Ф.* Микоризообразование сеянцев сосны и ели в теплицах летнего типа//Технология создания и экологические аспекты выращивания высокопродуктивных лесных культур. СПб.: ЛенНИИЛХ, 1992. С. 114–118.
7. *Мочалов Б.А.* Подготовка почвы и выбор посадочного места при создании лесных культур сосны из сеянцев с закрытыми корнями//Лесн. журн. 2014. № 4. С. 9–18. (Изв. высш. учеб. заведений).
8. *Мочалов Б.А.* Рекомендации и технологические карты по выращиванию саженцев сосны и ели в питомниках северной и средней подзон тайги европейской части России. Архангельск: СевНИИЛХ, 2005. 35 с.
9. ОСТ 56-99-93. Отраслевой стандарт. Культуры лесные. Оценка качества. М.: Федер. служба лесн. хоз-ва России, 1993. 35 с.
10. *Ронконен Н.И.* Вырубки и естественное возобновление на них//Лесовосстановление в КарАССР и Мурманской области. Петрозаводск: Карельский филиал АН СССР, 1975. С. 36–65.
11. *Семакова Т.А.* Проблема защиты хвойных пород от повреждения большим сосновым долгоносиком//Тр. СПбНИИЛХ. Вып. 2 (12). СПб., 2004. С. 191–205.
12. *Смоляницкая Л.Б., Козлова Т.И., Чикалюк Е.Н.* Архитектоника корневой системы в культурах сосны, созданных сеянцами и саженцами с закрытыми корнями//Технология создания и экологические аспекты выращивания высокопродуктивных лесных культур. СПб.: ЛенНИИЛХ, 1992. С. 25–34.
13. *Соколов А.И., Кривенко Т.И., Харитонов В.А.* Лесоводственная оценка химической обработки почвы при создании культур ели на злаковых вырубках//Изв. СПбЛТУ. 2011. Вып. 197. С. 79–87.
14. *Соколов А.И.* Лесовосстановление на вырубках Северо-Запада России. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2006. 215 с.
15. *Соколов А.И., Мордась А.А., Кривенко Т.И., Харитонов В.А.* Выращивание и использование крупномерного посадочного материала хвойных пород в условиях Карелии: метод. рекомендации. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2002. 43 с.

16. Юрьева А.Л. Влияние подготовки почвы и вида посадочного материала на рост и развитие лесных культур сосны//Лесн. журн. 2006. № 3. С. 14–20. (Изв. высш. учеб. заведений).

Поступила 18.02.14

UDC 630\*232

### **Preservation and Growth of Pine Cultivated by Ball-Rooted Planting Stock in Karelia**

*A.I. Sokolov, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor*

*V.A. Kharitonov, Management Engineer*

*A.N. Pekkoev, Candidate of Agricultural Sciences, Research Officer*

*T.I. Krivenko, Management Engineer*

Forest Research Institute, Karelian Research Centre of RAS (FRI KarRC RAS), Pushkinskaya st., 11, Petrozavodsk, 185910, Russian Federation; e-mail: pek-aleksei@list.ru

Ball-rooted planting stock (BRPS) has been increasingly used in Russia for reforestation of felled sites. In Karelia, the forest plantation ratio cultivated by ball-rooted planting stock in 2004 was 24 % of total planting. The work objective is to assess the performance of pine BRPS in different types of forest growth conditions. The surveys covered 35 planted sites: 8 sites located in the northern taiga and 27 – in the middle taiga. In the northern taiga subzone the basic attrition of seedlings was recorded in the sites of felled crowberry-cowberry and crowberry-bilberry pine stands in the first three years after planting. The cause of mortality of pine seedlings was the large pine weevil, *Hyllobius abietis* L., injuries and snow blight (phacidiosis). In the middle taiga in the first decade the pine seedlings in the sites of felled cowberry pine stands showed high seedling percent – over 80 %. The establishment rate in the sites of felled bilberry pine and spruce stands was lowered by the large pine weevil on drained loamy sand soils, and by drowning of the saplings planted in microdepressions left by scarifiers in loamy and moist loamy sand sites. Survival under these conditions was further deteriorated by suppression by herbaceous vegetation. In some sites there are about 38 % of planted pines were damaged by pine shoot moth, *Evetria turionana*, resulting a lower height increment. One of the sites with 6-year-old crops featured crooked trunk. Soil excavation showed the heavily distorted root systems of the plants. Presumably, the reason was a long stay of the seedlings in the sites of completion of growing. Conservation of plantation older than 10 years ranged widely – from 0 to 88 %. It mostly depended on soil fertility and the quality of silvicultural tending. Planted pine prevailed in the young stands only at the heavy cleaning sites. Thus, timely and proper tending of pine plantations at all stages is a pre-requisite for high-productive cultivation of coniferous stands.

*Keywords:* pine plantation, ball-rooted planting stock, conservation.

#### REFERENCES

1. Barakhovskiy I.A., Gorbochenko M.E. Razvitie odnoletnikh seyantsev nekotorykh khvoynykh porod introdutsentov v konteynerakh razlichnogo ob"ema [Development of One-Year-Old Seedlings of Some Introduced Coniferous Species in Pots of Different Size]. *Tekhnologiya sozdaniya i ekologicheskie aspekty vyrashchivaniya vysokoproduktivnykh*

*lesnykh kul'tur* [Technology Creation and Environmental Aspects of Cultivation of Highly Productive Plantations]. Saint Petersburg, 1992, pp. 42–47.

2. Egorov A.B., Trofimov L.N. Perspektivy ispol'zovaniya gerbitsidov pri obrabotke pochvy pod kul'tury sosny i eli [Prospects of Use Herbicides at Site-Preparation Treatment Before Planting Pine and Spruce Seedlings on Cutover]. *Izvestiya SPbLTA*, 2009, vol. 189, pp. 70–80.

3. Krutov V.I. *Gribnye bolezni khvoynykh porod v iskusstvennykh tsenozakh taezhnoy zony Evropeyskogo Severa SSSR* [Fungal Diseases of Conifers in Planted Communities in the Boreal Zone of the European North of the USSR]. Petrozavodsk, 1989. 208 p.

4. Krutov V.I., Volkova I.P. Lesopatologicheskoe sostoyanie estestvennogo vozobnovleniya i lesnykh kul'tur khvoynykh porod [Forest Pathology Characteristics of Natural Regenerating and Planted Coniferous Forests]. *Lesovosstanovlenie v Karel'skoy ASSR i Murmanskoy oblasti* [Reforestation in the Karelian Autonomous Soviet Socialist Republic and the Murmansk region]. Petrozavodsk, 1975, pp. 122–179.

5. Kryshen' A.M. Struktura i dinamika rastitel'nogo soobshchestva veynikovoy vyrubki v Yuzhnoy Karelii. 1. Vidovoy sostav [Structure and Dynamics of Plant Community in a Calamagrostis-Type Felled Site in Southern Karelia. 1. Floristic Composition]. *Botanicheskiy zhurnal*, 2003, vol. 88, no. 4, pp. 48–62.

6. Martikaynen N.F. Mikorizoobrazovanie seyantsev sosny i eli v teplitsakh letnego tipa [Mycorrhiza Formation in Pine and Spruce Seedlings in Summer Greenhouses]. *Tekhnologiya sozdaniya i ekologicheskie aspekty vyrashchivaniya vysokoproduktivnykh lesnykh kul'tur* [Technology Creation and Environmental Aspects of Cultivation of Highly Productive Plantations]. Saint Petersburg, 1992, pp. 114–118.

7. Mochalov B.A. Podgotovka pochvy i vybor posadochnogo mesta pri sozdanii lesnykh kul'tur sosny iz seyantsev s zakrytymi kornyami [Preparing the Soil and Choosing the Spot when Planting Pine Crops Using Ball-Rooted Planting Stock]. *Lesnoy zhurnal*, 2014, no. 4, pp. 9–18.

8. Mochalov B.A. *Rekomendatsii i tekhnologicheskie karty po vyrashchivaniyu sazhentsev sosny i eli v pitomnikakh severnoy i sredney podzon taygi Evropeyskoy chasti Rossii* [Guidelines and Process Charts for Nursery-Based Raising of Pine and Spruce Seedlings in the Northern and Middle Taiga Subzones of European Russia]. Arkhangelsk, 2005. 35 p.

9. OST 56-99-93. *Kul'tury lesnye. Otsenka kachestva*. [Industrial Standard 56-99-93. Planted Forests. Quality Evaluation]. Moscow, 1993. 35 p.

10. Ronkonen N.I. Vyrubki i estestvennoe vozobnovlenie na nikh [Felled Sites and Their Natural Regeneration]. *Lesovosstanovlenie v Karel'skoy ASSR i Murmanskoy oblasti* [Reforestation in the Karelian Autonomous Soviet Socialist Republic and Murmansk Region]. Petrozavodsk, 1975, pp. 36–65.

11. Semakova T.A. Problema zashchity khvoynykh porod ot povrezhdeniya bol'shim sosnovym dolgonosikom [Protection of Conifers Against Large Pine Weevil Injuries]. *Trudy SPbNILKh* [Proc. Saint Petersburg Forestry Research Institute], 2004, vol. 2 (12), pp. 191–205.

12. Smolyanitskaya L.B., Kozlova T.I., Chikalyuk E.N. Arkhitektonika kornevoy sistemy v kul'turakh sosny, sozdannykh seyantsami i sazhentsami s zakrytymi kornyami [Root System Structure in Pine Plantations Cultivated by Ball-Rooted Seedlings and Saplings]. *Tekhnologiya sozdaniya i ekologicheskie aspekty vyrashchivaniya vysokoproduktivnykh lesnykh kul'tur* [Technology Creation and Environmental Aspects of Cultivation of Highly Productive Plantations]. Saint Petersburg, 1992, pp. 25–34.

13. Sokolov A.I., Krivenko T.I., Kharitonov V.A. Lesovodstvennaya otsenka khimicheskoy obrabotki pochvy pri sozdanii kul'tur eli na zlakovykh vyrubkakh [Sylvicultural Assessment of Soil Chemical Treatment for Planting Spruce Crops in Grass-Type Felled Sites]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo lesotekhnicheskogo universiteta*, 2011, vol. 197, pp. 79–87.

14. Sokolov A.I. *Lesovosstanovlenie na vyrubkakh Severo-Zapada Rossii* [Reforestation of Felled Sites in Northwest of Russia]. Petrozavodsk, 2006. 215 p.

15. Sokolov A.I., Mordas' A.A., Krivenko T.I., Kharitonov V.A. *Vyrashchivanie i ispol'zovanie krupnomernogo posadochnogo materiala khyoynykh porod v usloviyakh Karelii* [Cultivation and Use of Large-Size Coniferous Planting Stock in Karelia]. Petrozavodsk, 2002. 43 p.

16. Yur'eva A.L. Vliyanie podgotovki pochvy i vida posadochnogo materiala na rost i razvitie lesnykh kul'tur sosny [The Effect of Soil Preparation and Type of Planting Stock on the Growth and Development of Planted Pine Forests]. *Lesnoy zhurnal*, 2006, no. 3, pp. 14–20.

Received on February 18, 2014

DOI:10.17238/issn0536-1036.2015.6.46

---

УДК 630\*23

## К МЕТОДИКЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГОРОДСКИХ НАСАЖДЕНИЙ

© *В.Ф. Ковязин<sup>1</sup>, д-р биол. наук, проф.*

*Т.Л. Нгуен<sup>2</sup>, асп.*

*Ч.Х. Фан<sup>2</sup>, асп.*

<sup>1</sup> Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Васильевский остров, 21-я линия 2, Санкт-Петербург, Россия 199106; e-mail: vfkedr@mail.ru

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, Институтский пер., 5, Санкт-Петербург, Россия, 194021; e-mail: goodluck1011001@yahoo.com

В настоящее время садово-парковые предприятия Санкт-Петербурга ежегодно составляют паспорта (реестры) объектов озеленения, в которых возраст деревьев указывается лишь в трех градациях: до 5, 5...15 и 16...30 лет. Но древесные породы в городских насаждениях живут и дольше, увеличивая при этом высоту и диаметр ствола. При инвентаризации городской растительности измеряют высоту и диаметр, а возраст отмечают по градациям, что совершенно не объективно. Цель наших исследований – установить зависимость между возрастом деревьев, произрастающих в сложных экологических условиях города, их высотой и диаметром. Задачами исследований являлись: изучение видового разнообразия паркового ценоза Московского парка Победы; оценка возрастной структуры насаждений парка; распределение деревьев парка по видам растений и ступеням толщины; установление зависимости возраста деревьев от их высоты и диаметра; статистическая оценка полученных уравнений связи возраста, высоты и диаметра деревьев. При исследованиях использовали определители древесных пород, общепринятую методику замера таксационных показателей деревьев и компьютерную программу для получения уравнений связи между возрастом деревьев, их высотой и диаметром. Установлено, что наиболее тесная связь между этими показателями характеризуется параболической кривой, что подтверждается значением коэффициента детерминации (0,35...0,84) и среднеквадратическим отклонением (2,45...4,97 %). Прямая и гиперболическая зависимости характеризуются менее тесной связью. Используя полученные уравнения связи, можно установить возраст деревьев, необходимый для оценки возрастной структуры древостоя и назначения лесоводственных мероприятий в парковых насаждениях Санкт-Петербурга. Результаты исследований планируется использовать в практике садово-паркового хозяйства крупных мегаполисов, а также в учебном процессе подготовки бакалавров по следующим направлениям: лесное дело, ландшафтная архитектура, землеустройство, кадастры.

*Ключевые слова:* парк, видовое разнообразие, параболическая зависимость, коэффициенты корреляции и детерминации.

### *Введение*

При составлении паспортов на садово-парковые объекты необходимы сведения о высоте, диаметре и возрасте каждого дерева. Первые два дендрометрических показателя измеряют высотомером и мерной вилкой, возраст дерева указывают в пределах: до 5, 5...15, 16...30 лет. Но древесные породы

в Санкт-Петербурге живут значительно дольше, поэтому этот показатель необходимо устанавливать хотя бы косвенно, через измеренные высоты и диаметры. Нами проведен сплошной учет деревьев и по полученным данным сделана попытка установить зависимость между возрастом дерева, его высотой и диаметром ствола. Полученные зависимости могут быть использованы в практике садово-паркового хозяйства для оценки возрастной структуры городских насаждений и разработки кадастра растительных ресурсов городских экосистем.

#### *Объекты и методика исследования*

В качестве объекта исследования выбран Московский парк Победы, который создан в честь победы советского народа в Великой Отечественной войне. Парк ограничен с севера ул. Кузнецовкой, с запада – Московским проспектом, с востока – проспектом Юрия Гагарина, с юга – ул. Бассейной. Площадь парка составляет 68 га [4].

Парк заложен был 7 октября 1945 г. на месте Кирпично-Пемзового завода, выполнявшего в годы войны роль крематория [5].

#### *Методика исследований*

Видовой состав насаждений парка устанавливали по определителю древесных растений.

Диаметр деревьев измеряли на высоте груди (1,3 м от шейки корня) мерной вилкой. В частности применялась вилка MANTAX (Haglof, Швеция) [2]. При измерениях диаметра отдельного дерева определяли среднее арифметическое из двух взаимно-перпендикулярных замеров. Диаметр деревьев-двойников измеряли, исходя из положения развилки относительно высоты 1,3 м (если развилка выше 1,3 м – один ствол, если ниже – два).

Высоту растущих деревьев измеряли высотомером Блюме-Лейсса (Германия).

Возраст деревьев определяли возрастным буравом, в отдельных случаях – по комплексу морфологических признаков дерева [2]:

по форме и развитию кроны; в молодом возрасте кроны более конусообразные, с возрастом они становятся шаро- и зонтикообразными;

по расположению сучьев и ветвей; у молодых деревьев сучья расположены от оси ствола под острым углом вверх, с возрастом сучья принимают горизонтальное положение;

по очищению ствола от сучьев; в молодом возрасте сучья опускаются низко по стволу, с увеличением возраста стволы очищаются от сучьев;

по виду хвои и листьев; в молодом возрасте хвоя или листва гуще и зеленее, с возрастом редее и тускнеет;

по строению и окраске коры; с увеличением возраста гладкая кора становится чешуйчатой, позднее – бороздчатой.

Эти признаки имеют свои особенности по регионам страны и зависят от древесной породы, условий роста и других факторов, поэтому их использование

требовало от нас знаний городских лесорастительных условий и определенного опыта оценки возраста.

Для обработки полевых результатов исследования таксационных показателей деревьев использовали программу CVXPТ32. Вводили поочередно значения возраста, высоты и диаметра дерева. Программа выдавала уравнения связи между этими показателями, а также статистические показатели для оценки. В дальнейшем проводили оценку математической связи между таксационными показателями и выбирали итоговое уравнение.

#### Результаты исследований

Нами изучена видовая и возрастная структура паркового древостоя. Особое внимание обращалось на таксационные показатели деревьев старше 30 лет (табл. 1).

Таблица 1

#### Количество деревьев парка старше 30 лет

№ п/п	Древесные породы	Количество	
		шт.	%
1	Береза повислая ( <i>Betula pendula</i> Roth.)	24	17,5
2	Вяз гладкий ( <i>Ulmus laevis</i> Pall)	26	19,0
3	Конский каштан обыкновенный ( <i>Aesculus hippocastanum</i> L.)	9	6,6
4	Липа мелколистная ( <i>Tilia cordata</i> Mill.)	11	8,0
5	Лиственница европейская <i>Larix europaea</i> DC.)	12	8,6
6	Ясень обыкновенный ( <i>Fraxinus excelsior</i> L.)	55	40,1
<i>Итого</i>		137	100

*Береза.* Посадки березы представлены главным образом одним видом – березой повислой (*Betula pendula* Roth.). Красота березы – национального дерева России – сочетается с быстротой роста, высокой устойчивостью к суровому климату и неприхотливостью к почвенным условиям. Она светолюбива и относительно газоустойчива, в озеленении используется в парках, скверах, особенно в аллеиных посадках, группами и одиночно [1]. На обследованной территории возраст насаждений березы в основном превышает 30 лет. Состояние деревьев с возрастом улучшается, что можно объяснить высоким отпадом ослабленных растений после посадки. В целом условия для произрастания березы на обследованной территории удовлетворительные.

*Вяз.* На территории района исследований произрастает в основном вяз гладкий, или обыкновенный (*Ulmus laevis* Pall). Деревья этой породы среднеустойчивы к городским условиям, теневыносливые, морозостойкие, быстрорастущие. Ильмовые породы плохо переносят сухие почвы, но не страдают от обрезки кроны, газоустойчивы. При озеленении их высаживают в садах и парках как перспективные солитеры, в группах и массивах – в смеси с дубом, кленом и липой. Вязы используют в аллеях и уличных посадках [1].

*Конский каштан обыкновенный* (*Aesculus hippocastanum* L.) влаголюбив и предпочитает суглинистые почвы, содержащие известь. Хорошо переносит городские условия, но в промышленных районах Санкт-Петербурга страдает от дыма и газов, в некоторых районах города – от каштановой минирующей моли. Растет медленно, особенно первые десять лет, более интенсивно – в период 10...25 лет. Плодоносить начинает через 15...25 лет [3]. Каштан является хорошим медоносом и очень декоративен в течение всего периода вегетации. В целом состояние деревьев каштана на обследуемой территории хорошее.

*Липа*. На обследованном объекте произрастает липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.). В озеленении Санкт-Петербурга липа – одна из самых распространенных древесных пород, поскольку она обладает устойчивостью к городским условиям, хорошо приживается и быстро восстанавливает побеги после стрижки, что создает хорошие возможности формирования кроны, однако она плохо переносит уплотнение, бедность и сухость почвы. Насаждения парка представлены главным образом взрослыми деревьями в хорошем состоянии.

*Лиственница европейская* (*Larix europaea* DC) отличается долговечностью, доживает до 500 и более лет. Отдельные экземпляры достигают высоты более 50 м. Она очень светолюбива [1]. В целом условия для произрастания лиственницы на обследованной территории удовлетворительные.

*Ясень*. В обследованных посадках используется ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior* L.). Порода светолюбивая, зимостойкая и засухоустойчивая, используется для одиночных и групповых посадок, создания ажурных аллей (как примесь). Однако ясень обыкновенный недостаточно устойчив к дыму и примеси газов. Часто у деревьев отмечается суховершинность [3]. В целом состояние ясеня на обследуемой территории хорошее.

Результаты распределения деревьев парка по группам высот приведены в табл. 2.

Таблица 2

Распределение (шт.) деревьев парка старше 30 лет по группам высот

№ п/п	Древесная порода	Группа высоты, м			
		10...20	21...30	≥ 31	
1	Береза повислая ( <i>Betula pendula</i> Roth.)	7	3	14	
2	Вяз гладкий ( <i>Ulmus laevis</i> Pall)	10	14	2	
3	Конский каштан обыкновенный ( <i>Aesculus hippocastanum</i> L.)	–	2	7	
4	Липа мелколистная ( <i>Tilia cordata</i> Mill.)	–	3	8	
5	Лиственница европейская ( <i>Larix europaea</i> DC)	–	11	1	
6	Ясень обыкновенный ( <i>Fraxinus excelsior</i> L.)	1	20	34	
<i>Итого</i>		шт.	18	53	66
		%	13,1	38,7	48,2



Почти 87 % насаждений парка имеют высоту более 20 м, следовательно возраст этих деревьев значительно больше 30 лет, как указано в реестре зеленых насаждений. Результаты исследования древостоев парка по ступеням толщины приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Распределение деревьев парка старше 30 лет по ступеням толщины ствола, шт.**

Группа диаметра ствола, см	Древесная порода						Итого
	Береза повислая	Вяз гладкий	Конский каштан	Липа мелколистная	Лиственница европейская	Ясень обыкновенный	
16,1...20,0	9	14	–	–	–	1	24
20,1...24,0	0	5	–	–	–	1	6
24,1...28,0	1	4	1	2	6	4	18
28,1...32,0	2	1	–	–	5	17	25
32,1...36,0	7	2	2	4	–	18	33
36,1...40,0	3	–	1	3	1	13	21
> 40,1	2	–	5	2	–	1	10
<i>Всего</i>	24	26	9	11	12	55	137

Распределение деревьев парка свидетельствует о почти равном числе деревьев в каждой ступени толщины, исключения составляют ступени 20,1...24,0 и 40,1 см и более. Деревья низких ступеней толщины поражены вредителями и удалены из древостоя. Крупномерные деревья, пораженные дереворазрушающими грибами, представляли угрозу, поэтому были вырублены при проведении санитарно-оздоровительных мероприятий.

Уравнения связи возраста деревьев с их высотой и диаметром ствола на высоте 1,3 м представлены в табл. 4, 5. Теснее всего связь между возрастом деревьев, их высотой и диаметром проявляется при параболической зависимости. Коэффициент корреляции при изучении возраста и диаметра деревьев колеблется от 0,866 (вяз гладкий) до 0,997 (каштан конский), что свидетельствует о тесной связи этих таксационных показателей. Связь между возрастом деревьев и их высотой также довольно тесная, коэффициент корреляции изменяется от 0,594 до 0,917. Следовательно, полученные уравнения связи между дендрометрическими показателями деревьев могут быть использованы при инвентаризации и разработке кадастра растительных ресурсов городских экосистем.

Таблица 4

## Уравнения связи возраста древесных пород и их высоты

№	Древесная порода	Математическая зависимость	Общий вид связи	Значения коэффициентов в уравнениях связи			Статистические показатели					Итоговое уравнение связи
				a	b	c	r	D	s	г	с	
1	Береза повислая	Прямая	$A = a + bh$	11,300	1,184	–	0,860	0,740	5,075	$A = 37,933 - 1,004h + 0,042h^2$		
		Параболическая	$A = a + bh + ch^2$	37,933	-1,004	0,042	0,866	0,750	5,098			
		Гиперболическая	$A = a + b/h$	11,300	1,181	–	0,860	0,740	5,075			
2	Вяз гладкий	Прямая	$A = a + bh$	14,241	1,091	–	0,849	0,721	3,391	$A = 38,357 - 1,070h + 0,046h^2$		
		Параболическая	$A = a + bh + ch^2$	38,357	-1,070	0,046	0,877	0,769	3,155			
		Гиперболическая	$A = a + b/h$	59,600	-447,727	–	0,756	0,572	4,202			
3	Каштан обыкновенный	Прямая	$A = a + bh$	29,490	0,903	–	0,593	0,352	2,267	$A = 29,093 + 0,928h - 0,0004h^2$		
		Параболическая	$A = a + bh + ch^2$	29,093	0,928	-0,001	0,594	0,353	2,449			
		Гиперболическая	$A = a + b/h$	85,212	-857,236	–	0,591	0,349	2,270			
4	Липа мелколистная	Прямая	$A = a + bh$	-10,470	2,076	–	0,889	0,790	4,295	$A = -155,765 + 12,262h - 0,175h^2$		
		Параболическая	$A = a + bh + ch^2$	-155,765	12,262	-0,175	0,917	0,841	3,927			
		Гиперболическая	$A = a + b/h$	110,753	-1733,889	–	0,908	0,825	3,926			
5	Лиственница европейская	Прямая	$A = a + bh$	38,552	0,651	–	0,497	0,247	4,390	$A = -133,220 + 11,939h - 0,181h^2$		
		Параболическая	$A = a + bh + ch^2$	-133,220	11,939	-0,181	0,752	0,566	3,512			
		Гиперболическая	$A = a + b/h$	81,497	-688,846	–	0,574	0,330	4,145			
6	Ясень обыкновенный	Прямая	$A = a + bh$	9,892	1,381	–	0,748	0,560	4,936	$A = 87,209 + 2,305h - 0,016h^2$		
		Параболическая	$A = a + bh + ch^2$	-3,221	2,305	-0,016	0,750	0,563	4,971			
		Гиперболическая	$A = a + b/h$	87,209	-1047,460	–	0,740	0,548	5,003			

Примечание: A – возраст, лет; h – высота, м; r – коэффициент корреляции; D – коэффициент детерминации; s – среднее квадратичное отклонение.

Таблица 5

## Уравнения связи возраста древесных пород и диаметра их ствола

№	Древесная порода	Математическая зависимость	Общий вид связи	Значения коэффициентов в уравнениях связи			Статистические показатели				Итоговое уравнение связи
				a	b	c	r	D	s		
1	Береза повислая	Прямая	$A = a + bd$	15,433	0,945	—	0,955	0,912	2,951	$A = 8,287 + 1,437d - 0,008d^2$	
		Параболическая	$A = a + bd + cd^2$	8,287	1,437	-0,008	0,958	0,918	2,922		
		Гиперболическая	$A = a + b/d$	72,225	-769,860	—	0,937	0,878	3,463		
2	Вяз гладкий	Прямая	$A = a + bd$	12,464	1,145	—	0,866	0,750	2,972	$A = 12,362 + 1,153d - 0,001d^2$	
		Параболическая	$A = a + bd + cd^2$	12,362	1,153	-0,001	0,886	0,785	3,036		
		Гиперболическая	$A = a + b/d$	67,950	-664,587	—	0,859	0,738	3,283		
3	Каштан обыкновенный	Прямая	$A = a + bd$	45,239	0,289	—	0,931	0,867	1,023	$A = 75,625 - 1,267d + 0,019d^2$	
		Параболическая	$A = a + bd + cd^2$	75,625	-1,267	0,019	0,997	0,994	0,249		
		Гиперболическая	$A = a + b/d$	67,589	-408,290	—	0,860	0,740	1,435		
4	Липа мелколистная	Прямая	$A = a + bd$	21,018	0,887	—	0,794	0,630	5,691	$A = -76,167 + 6,184d - 0,069d^2$	
		Параболическая	$A = a + bd + cd^2$	-76,167	6,184	-0,069	0,955	0,912	2,934		
		Гиперболическая	$A = a + b/d$	90,285	-1292,949	—	0,896	0,803	4,160		
5	Лиственница европейская	Прямая	$A = a + bd$	33,488	0,785	—	0,643	0,414	3,876	$A = -137,871 + 11,605d - 0,166d^2$	
		Параболическая	$A = a + bd + cd^2$	-137,871	11,605	-0,166	0,933	0,871	1,923		
		Гиперболическая	$A = a + b/d$	87,739	-900,371	—	0,743	0,552	3,194		
6	Ясень обыкновенный	Прямая	$A = a + bd$	15,650	1,104	—	0,832	0,692	4,127	$A = -34,567 + 4,163d - 0,045d^2$	
		Параболическая	$A = a + bd + cd^2$	-34,567	4,163	-0,045	0,886	0,785	3,572		
		Гиперболическая	$A = a + b/d$	88,365	-1162,4	—	0,871	0,759	3,645		

Примечание: A – возраст, лет; d – диаметр ствола, см; r – коэффициент корреляции; D – коэффициент детерминации; s – среднее квадратичное отклонение.

*Выводы*

1. Высаженные в Московском парке Санкт-Петербурга как аборигенные древесные породы (березы повислая), так и интродуценты (вяз гладкий, каштан конский обыкновенный, липа мелколистная и др.) существенно различаются темпами роста и таксационными показателями.

2. По результатам инвентаризации зеленых насаждений парка разработана математическая модель связи между возрастом деревьев, их высотой и диаметром. Полученные уравнения связи наиболее тесно коррелируют с таксационными показателями деревьев при параболической зависимости, прямая и гиперболическая зависимости характеризуется менее тесной связью.

3. Результаты исследований предлагается использовать в практике садово-паркового хозяйства, при инвентаризации зеленых насаждений, разработке кадастра растительных ресурсов городов, а также в учебном процессе вузов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ковязин В.Ф., Беляева Н.В. Устойчивость древесных пород к техногенным нагрузкам//Изв. С.-Петербургской лесотехнической академии. 2007. Вып. 179. С.15–24.

2. Ковязин В.Ф., Мартынов А.Н., Мельников Е.С., Аникин А.С., Беляева Н.В. Основы лесного хозяйства и таксация леса: учеб. пособие. 3-е изд., испр. и доп. СПб.: Изд-во «Лань», 2012. 432 с.

3. Ковязин В.Ф., Минкевич И.И., Шабнов В.М. Древесные породы зеленых насаждений С.-Петербурга и Пушкина, мониторинг их состояния и способы его улучшения. СПб.: Изд-во СПб ГПУ, 2002. 88 с.

4. Прогулка по Санкт-Петербургу. Московский парк Победы. Режим доступа: [http://walkspb.ru/sad/park\\_pobedy.html](http://walkspb.ru/sad/park_pobedy.html)

5. В Московском парке будет создан музей памяти. Режим доступа: <http://www.fontanka.ru/2003/11/10/54063/>

Поступила 23.07.14

UDC 630\*23

**On a Research Methodology of Urban Stands**

**V.F. Kovyazin<sup>1</sup>**, *Doctor of Biological Sciences, Professor*

**T.L. Nguen<sup>2</sup>**, *Postgraduate Student*

**Ch.H. Fan<sup>2</sup>**, *Postgraduate Student*

<sup>1</sup>National Mineral Resources University, Vasilyevsky ostrov, 21 Line, 2, Saint Petersburg, 199106, Russian Federation; e-mail: vfkedr@mail.ru

<sup>2</sup>Saint Petersburg State Forest Technical University under name of S.M. Kirov, Institutskiy per., 5, Saint Petersburg, 194021, Russian Federation; e-mail: goodluck1011001@yahoo.com

Park and garden enterprises of Saint Petersburg annually make the passports (registers) of green areas, in which the age of trees is reported only in three gradations: up to 5 years, 5...15 and 16...30 years. But tree species in the urban stands live more years, increasing its

height and diameter. When the inventory of the urban vegetation the height and diameter are measured, and the age is constantly marked by gradations that is absolutely not objective. The aim of our research is to establish the relationship between the age, height and diameter of the trees, growing in the difficult environmental conditions of a city. Objectives of the study were the study of species diversity of the Moscow park of Victory; assessment of the age structure of the park plantings; tree distribution by plant species and thickness; determination of dependence of the age of a tree on its height and diameter; statistical evaluation of the received equations of connection of age, height and diameter of trees of different species. In the studies determinants of tree species, generally accepted methods of tree taxational indexes, and a computer program for calculation of equations of connection between the tree ages, their height and diameter were used. It is established, that the close association between these indicators is characterized by a parabolic curve that is confirmed by the value of the determination coefficient (0.35...0.84) and the mean-square deviation from (2.45...4.97 %). Direct and hyperbolic dependence are characterized by less connection. Due to the obtained equations of connection it's possible to establish the age of trees, necessary for assessing the age structure of the stand and a target of silvicultural treatments in the parks of Saint Petersburg. The age is required for the assessment of the age structure of phytocenosis and destination of forestry activities in the park of Saint Petersburg. The research results can be used in the practice of landscape management in the cities, as well as in the bachelors educational process in the following segments: forestry business, landscape architecture, land management and cadasters.

*Keywords:* park, species diversity, parabolic dependence, coefficients of correlation and determination.

#### REFERENCES

1. Kovyazin V.F., Belyaeva N.V. Ustoychivost' drevesnykh porod k tekhnogennym nagruzkam [Sustainability of Tree Species to Man-Caused Impacts]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [Proc. Saint Petersburg Forestry Academy], 2007, iss. 179, pp. 15–24.
2. Kovyazin V.F., Martynov A.N., Mel'nikov E.S., Anikin A.S., Belyaeva H.B. *Osnovy lesnogo khozyaystva i taksatsiya lesa: Uchebnoe posobie* [Basics of Forestry and Forest Taxation: Manual]. Saint Peterburg, 2012. 432 p.
3. Kovyazin V.F., Minkevich I.I., Shabnov V.M. *Drevesnye porody zelenykh nasazhdeniy Sankt-Peterburga i Pushkina, monitoring ikh sostoyaniya i sposoby ego uluchsheniya* [Woody Species of Green Areas in Saint Petersburg and Pushkin, Monitoring of Their Condition and Ways of Improvement]. Saint Petersburg, 2002. 88 p.
4. *Progulki po Peterburgu. Moskovskiy park Pobedy* [Tour of Saint Petersburg. The Moscow Park of Victory]. Available at: [http://walkspb.ru/sad/park\\_pobedy.html](http://walkspb.ru/sad/park_pobedy.html)
5. V Moskovskom parke Pobedy budet sozdan Muzey pamyati [A Museum of Memory will Be Created in the Moscow Park of Victory]. *Internet-gazeta "Fontanka.ru"* [Internet newspaper "Fontanka.ru"]. Available at: <http://www.fontanka.ru/2003/11/10/54063/>

Received on July 23, 2014

DOI:10.17238/issn0536-1036.2015.6.57

УДК 630\*5

**ТЕКУЩИЙ ПРИРОСТ ПО ДИАМЕТРУ В НАСАЖДЕНИЯХ,  
ПРОЙДЕННЫХ РУБКАМИ УХОДА ПРОРЕЖИВАНИЕМ**© А.С. Ильинцев<sup>1,2</sup>, асп., мл. науч. сотр.С.В. Третьяков<sup>1,2</sup>, д-р с.-х. наук, доц.С.В. Коптев<sup>1,2</sup>, канд. с.-х. наук, доц.И.В. Федотов<sup>1,2</sup>, асп., мл. науч. сотр.Р.А. Ершов<sup>1</sup>, асп.<sup>1</sup>Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: Ilintsev666@yandex.ru<sup>2</sup>Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства, ул. Никитова, 13, г. Архангельск, Россия, 163062; e-mail: Ilintsev666@yandex.ru

Для научной организации, планирования и устойчивого управления лесным хозяйством необходимо переходить на такие формы ведения хозяйства, которые обеспечивают наибольшую экономическую отдачу с 1 га продуцирующей лесной площади. Одной из форм ведения хозяйства является выборочная, когда лесопользование в насаждениях ведется постоянно, начинается с рубок ухода за насаждениями и продолжается в возрасте спелости. Ведение выборочного хозяйства на Севере ограничивается риском распада насаждений после рубки. Использование древесины от рубок ухода увеличивает объем получаемой на единице площади древесины, способствует повышению производительности насаждений. Рубки ухода направлены на формирование высокопродуктивных насаждений из целевых древесных пород. Наши исследования направлены на получение достоверных данных, характеризующих состояние, продуктивность и устойчивость к условиям внешней среды, техногенным и антропогенным воздействиям сосновых насаждений, пройденных рубками ухода. Объекты исследования расположены в Обозерском лесничестве и представлены средневозрастными сосновыми насаждениями, пройденными рубкой прореживания. Всего было заложено 5 учетных площадок. При закладке пробных площадей руководствовались ОСТ 56-69–83. На пробных площадях был произведен комплекс лесоводственно-таксационных работ. Образцы древесины (керны) отбирали у деревьев, расположенных в центре пасеки и на границе пасеки и волока. Общее количество взятых кернов составляет 40 шт. Полученные материалы были обработаны принятыми в лесной таксации методами и методами вариационной статистики. Выборка части деревьев влияет на состояние, рост и развитие насаждения. По результатам исследования установлены различия в росте и развитии деревьев, расположенных возле волока и в центре пасеки. Деревья, расположенные в центре пасеки, в меньшей степени отзываются на рубку. Наибольший прирост по диаметру у деревьев, находящихся рядом с волоком и находящихся в центре пасеки, наблюдался в 2003 г. (на 10-й год после рубки) и составлял соответственно 1,59 и 1,26 мм. Средняя ширина годичного кольца для деревьев, расположенных возле волока и в центре пасеки, составляла  $(1,16 \pm 0,03)$  и  $(1,01 \pm 0,02)$  мм. Различия между средней шириной годичного слоя до и после проведения рубки у деревьев, расположенных на границе пасеки и волока, достоверно ( $t_{\phi} = 3$ ). Для деревьев, расположенных в центре пасеки, статистическое различие не доказано. Проведение рубок ухода прореживанием положительно влияет на таксационные показатели насаждения.

При определении возраста, когда целесообразно проводить 2-й или последующий приемы, необходимо руководствоваться объективными критериями. Одним из таких критериев является текущий прирост. Проведение своевременного приема рубок создаст благоприятные условия для поддержания высокого темпа прироста древесины.

*Ключевые слова:* рубки ухода, прореживание, выборочное хозяйство, текущий прирост.

Эффективность лесного хозяйства и лесопромышленного комплекса, воспроизводство и рациональное использование лесных ресурсов определяются уровнем и формой ведения лесохозяйственного производства [5].

Организация и проведение выборочных рубок считаются перспективным направлением ведения лесного хозяйства. Выборочные рубки позволяют непрерывно использовать продуцирующее насаждение. Недостатком выборочных рубок на Севере считается смена пород и слабая устойчивость насаждений к разреживанию, особенно еловых древостоев.

Выборочное хозяйство обеспечивает сохранение биологического разнообразия, соблюдение требований Российского национального стандарта добровольной лесной сертификации по системе Лесного попечительского совета [9].

Ведение выборочного хозяйства, включая рубки ухода, позволяет существенно повысить общую производительность древостоев. После проведения выборочных рубок следует ожидать улучшения роста деревьев за счет увеличения площади питания древесных растений и поступления дополнительного количества тепла и света (световой прирост) [11].

Устойчивость насаждений после проведения выборочных рубок, включая рубки ухода, зависит от почвенных условий, типа леса, возрастной структуры, интенсивности рубки, состава древостоя, полноты и сомкнутости, состояния древостоя.

Влияние интенсивности выборки на остающуюся часть древостоя представляет большой практический интерес, так как чрезмерная выборка приводит к снижению устойчивости, недостаточная не позволяет в полной мере использовать преимущества выборочного хозяйства.

Изучение состояния насаждений, пройденных рубками ухода прореживанием, проводили в 110-м квартале, выдел 1, Верховского участкового лесничества Обозерского лесничества Архангельской области. Рубку проводили по традиционной технологии: валка бензопилой и трелевка трактором ТДТ-55 за вершину. Необходимо отметить, что рубка была слабой интенсивности, выборка проводилась только на волоках, в пасаках были выбраны только отдельные крупные деревья.

Ленточная пробная площадь закладывалась вдоль пасеки и состояла из учетных площадок по 0,04 га. Общая площадь пробы 0,2 га. Пробные площади закладывались с учетом ОСТ 56-69–83 [7] и разработанных на его основе рекомендаций [10]. По материалам сплошного перечета определяли таксационную характеристику насаждения на пробных площадях принятыми в лесной таксации методами [2].

Таксационная характеристика насаждения представлена в табл. 1.

Таблица 1

**Таксационная характеристика смешанного соснового насаждения,  
пройденного в 1993 г. прореживанием**

Год закладки	Класс бонитета	Состав	Порода	Средние			Сумма площадей сечений, м <sup>2</sup> /га	Полнота	Запас, м <sup>3</sup> /га	
				возраст, лет	высота, м	диаметр, см			растущего	сухого
2014	II	7С2Б1Е+Ос	С	73	21,6	20,7	26,6	0,70	279	13
			Е	–	13	13,7	7,8	0,31	52	–
			Б	–	19,4	18,3	8,0	0,27	74	–
			Ос	–	21,6	27,8	0,9	0,02	10	–
<i>Всего</i>							43,3	1,30	415	13

Анализ табл. 1 показал, что после проведения рубок ухода сформировалось высокополнотное, высокопродуктивное смешанное сосново-березово-еловое насаждение, тип леса сосняк-черничный. В результате разреживания соснового полога в нем идут интенсивные процессы формирования смешанного насаждения за счет тонкомера и подроста ели. Отмирание (отпад) происходит за счет отставших в росте деревьев тонкомерных ступеней. Исследуемый древостой формируется на подзолистых почвах, которые являются типичными для северотаежного лесного района.

Для изучения влияния прореживания на прирост древесины сосны у растущих деревьев были взяты возрастным буровом керны на высоте груди в случайном порядке (у деревьев разной толщины). Было взято по 20 кернов у деревьев, расположенных в центре пасаки и на границе пасаки и волока, для того, чтобы оценить влияние разрубленных волоков на прирост по диаметру деревьев сосны. При прорубке волоков создаются дополнительные благоприятные световые условия для роста деревьев.

В условиях умеренной зоны годовые кольца у хвойных пород хорошо различимы, вследствие различий в анатомическом строении трахеид, произведенных камбием в начале и в конце вегетационного периода, и могут быть использованы в качестве индикатора, показывающего реакцию деревьев на проведение рубок ухода, т. е. на разреживание полога [3]. Эта реакция получила название световой прирост. В изучаемом древостое разреживание в большей степени повлияло на прирост деревьев, которые расположены в непосредственной близости к волокам.

Собранные в полевых условиях керны анализировали в лаборатории. Размерные характеристики определяли измерителем параметров ядра *Corim Max i* с точностью 0,01 мм. Для получения лучшего контраста между границами клеток и узких колец поверхность у буровых образцов зачищали острым режущим инструментом, при этом обрабатываемую часть ядра предварительно смачивали водой.

На ядрах измерен прирост по радиусу (ширина годового кольца) с 1980 г. и по 2013 г., т. е. за последние 34 года. Полученные данные приростов



обработаны с использованием методов вариационной статистики [4], вычислены статистические показатели по методу малой выборки (средние значения и другие статистические показатели текущего прироста у деревьев сосны, расположенных рядом с волоком и в центре пасеки).

Для установления различия двух выборок по годам наблюдения сравнили средние значения по критерию Стьюдента. Коэффициенты различия среднего значения ( $t_{\phi}$ ) двух малых выборок представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Коэффициенты различия среднего значения прироста  
по радиусу деревьев сосны, произрастающих у волока и в центре пасеки**

Год	$t_{\phi}$	Год	$t_{\phi}$	Год	$t_{\phi}$
1980	0,20	1992	0,56	2004	<b>2,22</b>
1981	1,08	1993	0,33	2005	<b>2,28</b>
1982	<b>2,02</b>	1994	0,30	2006	<b>2,28</b>
1983	1,15	1995	1,80	2007	1,46
1984	1,47	1996	0,84	2008	<b>2,57</b>
1985	1,64	1997	0,67	2009	<b>2,16</b>
1986	1,16	1998	0,63	2010	0,92
1987	0,30	1999	0,23	2011	1,72
1988	1,62	2000	0,48	2012	1,39
1989	1,32	2001	1,19	2013	1,81
1990	0,00	2002	1,43	2014	–
1991	0,28	2003	1,49	2015	–

Стандартное значение  $t_{\alpha}$  при числе степеней свободы, равном 38, для заданного уровня вероятности безошибочного заключения  $P = 0,95$ ;  $P = 0,99$ ;  $P = 0,999$  составляет 2,0; 2,7; 3,6 соответственно.

В результате сравнения прироста по радиусу у деревьев, расположенных возле волока и в центре пасеки, можно сделать вывод, что они отличаются на 0,95-м уровне вероятности только в 1982, 2004, 2005, 2006, 2008, 2009 гг., в остальных случаях различие имеется, но не достигает достоверных значений. Таким образом, деревья, находящиеся в центре пасеки, в меньшей степени отзываются на прорубку волоков и разреживание полога. Изменение абсолютных значений текущего прироста по радиусу с разделением на две группы (в середине пасеки и у волока) приведено на рисунке.

Анализируя рисунок необходимо отметить, что после проведения прореживания в 1993 г. произошло снижение прироста по диаметру. Это связано с тем, что деревья после рубки в первые 1-2 года адаптируются к изменившимся условиям среды. Текущий прирост древесины в насаждениях сосны характеризуется следующими уравнениями связи:

для деревьев, растущих у волока,

$$y = 2E - 07x^6 - 0,002x^5 + 9,8437x^4 - 26190x^3 + 4E + 07x^2 - 3E + 10x + 1E + 13; \quad (1)$$



Текущий прирост по радиусу в течение последних 34 лет у деревьев, расположенных у волока и в середине пасеки

для деревьев, растущих в центре пасеки,

$$y = 6E - 08x^6 - 0,0007x^5 + 3,5357x^4 - 9410x^3 + 1E + 07x^2 - 1E + 10x + 4E + 12, \quad (2)$$

где  $y$  – прирост по радиусу, мм;

$x$  – календарный год, лет.

Часть насаждения, оставшаяся после прореживания на корню, адаптируется к новым условиям среды. При рубке экологическая обстановка изменяется внезапно, изменение же любой части древостоя происходит сравнительно медленно [1].

Минимальный прирост у деревьев, находящихся у волока, отмечен в 1995 г. и составляет 0,74 мм, у деревьев, находящихся в центре пасеки, – в 1994 г. и равен 0,76 мм. Таким образом, деревья, находящиеся в центре волока, испытывают меньший стресс, чем деревья, находящиеся непосредственно у волока.

Через 1-2 года после рубки прирост по диаметру увеличивается на протяжении 9 лет у деревьев, находящихся в центре волока, и деревьев, находящихся непосредственно у волока. Это объясняется световым приростом, обусловленным увеличением площади питания растений, дополнительным притоком света и тепловой энергии, которые они получают в разреженном лесу.

Разреживание древостоя приводит к изменениям во взаимосвязях между деревьями. Все это сказывается на дальнейшем росте деревьев, характере

прироста их в высоту и толщину, развитии боковых ветвей и кроны в целом, форме стволов, формировании годичных слоев и качестве древесины [6].

Необходимо также отметить, что в обоих случаях в 1998 г. наблюдается спад прироста по диаметру, который, видимо, связан с метеорологическими условиями. После спада в 1998 г. прирост по диаметру продолжает увеличиваться. На рисунке наглядно видно, что прирост по диаметру после проведения рубки больше, чем до рубки. Таким образом, рубка прореживания положительно повлияла на прирост древесины.

Наибольший прирост по диаметру у деревьев, находящихся рядом с волоком и в центре пасаки, отмечен в 2003 г. и составляет соответственно 1,59 и 1,26 мм.

Ряд исследователей приводит значения оптимальной (с точки зрения плотности и прочности древесины) ширины годичных слоев. Для северной сосны этот показатель составляет 1,0...1,2 мм [8]. Средняя ширина годичного кольца для деревьев, расположенных возле волока, –  $(1,16 \pm 0,03)$  мм, для деревьев расположенных в центре пасаки, –  $(1,01 \pm 0,02)$  мм. Коэффициенты изменчивости соответственно составляют 17,6 и 11,6 %. Следовательно, ширина годичного кольца в обоих случаях имеет среднюю изменчивость.

Анализируя среднюю ширину годичного слоя до и после проведения рубки прореживания, пришли к следующим результатам. Средняя ширина годичного слоя до рубки у деревьев, расположенных возле волока, равна  $(1,07 \pm 0,03)$  мм, в середине пасаки –  $(0,97 \pm 0,03)$  мм. Средняя ширина годичного слоя после рубки у деревьев, расположенных возле волока, равна  $(1,22 \pm 0,05)$  мм, в середине пасаки –  $(1,04 \pm 0,03)$  мм. Показатель  $t_{\phi} = 3$  свидетельствует об установлении различия между средней шириной годичного слоя до и после проведения рубки у деревьев, расположенных возле волока. Различия не доказано между средней шириной годичного слоя до и после проведения рубки у деревьев, расположенных в центре пасаки, показатель  $t_{\phi} = 1,75$ .

Для установления возраста, когда целесообразно проводить второй и последующие приемы рубок, необходимо выработать объективные критерии. Одним из критериев является текущий прирост. Считаем, что было бы целесообразно проводить второй прием рубок ухода, а именно: проходные рубки в 2008 г. или через 16 лет после проведения прореживаний, так как после 2008 г. прирост устанавливается на уровне фоновых значений. Проведение своевременного приема создает благоприятные условия для поддержания высоких темпов прироста древесины.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев С.В., Молчанов А.А. Выборочные рубки в лесах Севера. М.: Изд-во АН СССР, 1954. 147 с.
2. Анучин Н.П. Лесная таксация: учеб. для вузов. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 552 с.

3. Ваганов Е.А., Тресков И.А. Анализ роста дерева по структуре годичных колец. Новосибирск: Наука, 1977. 93 с.
4. Гусев И.И. Статистические показатели распределения: метод. указания к выполнению практ. работ по вариационной статистике. Архангельск: АЛТИ, 1980. 36 с.
5. Гусев И.И. Формирование таежных ельников выборочного хозяйства// Лесн. журн. 1999. № 2-3. С. 11–18. (Изв. высш. учеб. заведений).
6. Мелехов И.С. Рубки и возобновления леса на Севере. Архангельск: Арханг. кн. изд-во, 1960. 200 с.
7. ОСТ 56-69-83. Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки. М.: ЦБНТИГослесхоза СССР, 1983. 60 с.
8. Полубояринов О.И. Влияние лесохозяйственных мероприятий на качество древесины. Л.: ЛТА, 1974. 97 с.
9. Российский национальный стандарт Лесного попечительского совета. Стандарт Лесного попечительского совета для Российской Федерации FSC-STD-RUS-V6-1–2012 Russia Natural and Plantations EN. Режим доступа: [www.fsc.ru/upload/file/Russian\\_National\\_FSC\\_Standard\\_v\\_6\\_01\\_Ru\\_itog.pdf](http://www.fsc.ru/upload/file/Russian_National_FSC_Standard_v_6_01_Ru_itog.pdf) (дата обращения 02.11.2013).
10. Соколов Н.Н. Методические указания к дипломному проектированию по таксации пробных площадей. Архангельск: РИО АЛТИ, 1978. 44 с.
11. Третьяков С.В., Коптев С.В., Ярославцев С.В. Текущий прирост в ельниках выборочного хозяйства//Сб. тр. ФГУ «СевНИИЛХ» по итогам научно-исследовательских работ за 2005–2009 гг. Архангельск: Изд-во САФУ, 2011. С. 140–144.

Поступила 11.02.15

UDC 630\* 5

### The Current Radial Increment in the Forest Stands After the Improvement Thinning

*A.S. Il'intsev<sup>1,2</sup>, Postgraduate Student, Research Assistant*

*S.V. Tret'yakov<sup>1,2</sup>, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor*

*S.V. Koptev<sup>1,2</sup>, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor*

*I.V. Fedotov<sup>1,2</sup>, Postgraduate Student, Research Assistant*

*R.A. Ershov<sup>1</sup>, Postgraduate Student*

<sup>1</sup>Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: [ilintsev666@yandex.ru](mailto:ilintsev666@yandex.ru)

<sup>2</sup>Northern Research Institute of Forestry, Nikitov str., 13, Arkhangelsk, 163062, Russian Federation; e-mail: [ilintsev666@yandex.ru](mailto:ilintsev666@yandex.ru)

For scientific and sustainable forest management and planning it is necessary to establish the forms of forest management providing the greatest economic returns on the basis of 1 ha of producing forest area. One of the forms of the forest management is selective cutting with sustained product yield at the thinning cutting period and maturity age. Sustainable selection system in the North is limited by the risk of decline of the forest stands after a felling. The use of wood from improvement cuttings increases the wood volume received at one area unit and improves the forest stands productivity. Improvement cuttings are aimed at the formation of high-productive target woody species. On the basis of the research the valid data, characterizing the state, productivity and resistance to environmental conditions, technological and human impacts of pinetums after the improvement thinning, were obtained.

The objects of the research are located in the Obozersky forest division and presented by the middle-aged pinetums after the improvement thinning. 5 discount areas were considered. The coupe quadrat demarcation was organized according to the Industrial Standard 56–69–83. A package of silvicultural and survivor works was complete. The samples of wood were taken from the trees located in the center of a cutting strip and at the border of a cutting strip and a strip road. The total number of core samples is 40 pieces. The samples obtained at the discount areas were treated by forest survey methods and methods of variation statistics. The trees selection affects the state, growth and development of forest stands. The study established differences in the growth and development of trees located in the center of a cutting strip and at the border of a cutting strip and a strip road. Trees located in the center of the cutting strip respond to the cutting to a lesser extent. The highest current increase in diameter of trees located in the center of a cutting strip and near a strip road was observed in 2003 (10 years after cutting) and was 1.59 mm and 1.26 mm, respectively. The average width of annual rings of trees located near a strip road is  $1.16 \pm 0.03$  mm, of trees located in the center of a cutting strip –  $1.01 \pm 0.02$  mm. The difference between the average width of the annual ring of trees located on the border of a cutting strip and a strip road before and after a felling is significant ( $t_f = 3$ ). Statistical difference for trees located in the center of a cutting strip is not proven. Improvement thinning effects positively on the forest survey indicators of the forest stands. It is necessary to be guided by objective criteria in determining the age. One of these criteria is the incremental value. Timely improvement thinning will create favorable conditions to maintain a high increment rate of timber.

*Keywords:* improvement thinning, cutting-back, selection system, current increment.

#### REFERENCES

1. Alekseev S.V., Molchanov A.A. *Vyborochnye rubki v lesakh Severa* [Selective Cutting in the Forests of the North]. Moscow, 1954. 147 p.
2. Anuchin N.P. *Lesnaya taksatsiya: uchebnyk dlya vuzov* [Forest Survey]. Moscow, 1982. 552 p.
3. Vaganov E.A., Treskov I.A. *Analiz rosta dereva po strukture godichnykh kolets* [The Tree Growth Analysis According to the Annual Rings Structure]. Novosibirsk, 1977. 93 p.
4. Gusev I.I. *Statisticheskie pokazateli raspredeleniya: Metodicheskie ukazaniya k vypolneniyu prakticheskikh rabot po variatsionnoy statistike* [Statistical Indicators of Distribution: Methodical Instructions for Practical Works on Variation Statistics]. Arkhangelsk, 1980. 36 p.
5. Gusev I.I. Formirovanie taezhnykh el'nikov vyborochnogo khozyaystva [Formation of Taiga Spruce Selection Systems]. *Lesnoy zhurnal*, 1999, no. 2–3, pp. 11–18.
6. Melekhov I.S. *Rubki i vozobnovleniya lesa na Severe* [Cutting and Forest Renewal in the North]. Arkhangelsk, 1960. 200 p.
7. *OST 56–69–83. Ploshchadi probnye lesoustroitel'nye. Metod zakladki* [Industrial Standard 56–69–83. Forest Management Sample Plots. Coupe Demarcation Method]. Moscow. 60 p.
8. Poluboyarinov O.I. *Vliyanie lesokhozyaystvennykh meropriyatiy na kachestvo drevesiny* [Influence of Forestry Measures on the Timber Quality]. Leningrad, 1972. 74 p.
9. *Standart Lesnogo popechitel'skogo soveta dlya Rossiyskoy Federatsii* [Forest Stewardship Council Standard FSC-STD-RUS-V6-1-2012 Russia Natural and Plantations EN].

Available at: [www.fsc.ru/upload/file/Russian\\_National\\_FSC\\_Standard\\_v\\_6\\_01\\_Ru\\_itog.pdf](http://www.fsc.ru/upload/file/Russian_National_FSC_Standard_v_6_01_Ru_itog.pdf) (accessed 02. 11.2013).

10. Sokolov N.N. *Metodicheskie ukazaniya k diplomnomu proektirovaniyu po taksatsii probnykh ploshchadey* [Recommended Practices for Graduation Work Designing on Sample Plots]. Arkhangelsk, 1978. 44 p.

11. Tret'yakov S.V., Koptev S.V., Yaroslavtsev S.V. Tekushchiy prirost v el'nikakh vyborochnogo khozyaystva [Current Growth in Spruce Selection Systems]. *Sbornik trudov FGU «SevNIILKh» po itogam nauchno-issledovatel'skikh rabot za 2005–2009 gg.* [Works Collection of FSA “Northern Research Institute of Forestry” on the Results of Scientific Research in 2005–2009]. Arkhangelsk, 2011, pp. 140–144.

Received on February 11, 2015

DOI:10.17238/issn0536-1036.2015.6.66

---

---

УДК 630\*17:582.931.4:632.35

## ПАТОГЕНЕЗ ТУБЕРКУЛЕЗА ЯСЕНЯ ОБЫКНОВЕННОГО В УСЛОВИЯХ ЗАПАДНОГО ПОДОЛЬЯ УКРАИНЫ

© *И.Н. Кульбанская, соискатель*

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, ул. Героев  
Обороны, 15, Киев, Украина, 03041; e-mail: i\_kulbanska@ukr.net

В статье обобщены результаты исследований симптоматики, распространенности и вредоносности наиболее распространенного и опасного заболевания ясеня обыкновенного – туберкулеза. Возбудитель – фитопатогенная бактерия *Pseudomonas syringae* pv. *savastanoi* (Smith 1908) – поражает как стволы, ветви и побеги, так и соцветия ясеня обыкновенного. Выделены этапы патогенеза заболевания, представлена краткая характеристика возбудителя. Установлено, что бактерии могут инфицировать деревья, начиная с 1–2-летнего возраста. При этом вместо гладкой зеленовато-серой корки формируются небольшие эллипсоидные мягкие опухоли вследствие локального вздутия коры и заполнения пустот серой липкой бактериальной массой без запаха. Со временем пораженные участки ствола становятся более плоскими, растрескиваются, камбий и луб в средней части отмирают и разрушаются. В центре туберкулезных образований формируется трещина, которая со временем зарастает. Из года в год образуются новые туберкулезные поражения, которые распространяются как по длине, так и по периметру ствола (ветви). Как следствие, формируются специфические многолетние поражения, внешне напоминающие паршу. Акцентировано внимание на том, что высокой восприимчивостью к возбудителю туберкулеза отличается молодая порослевая ясень, особенно поросль от пня, где нередко бывает поражено (в разной степени развития болезни) до 80...100 % растений. Показано, что на генеративных органах ясеня обыкновенного обнаружены представители вредоносной энтомофауны: *Ligniodes enucleator* Panz., *Dasineura fraxini* Kieff., *Prociphilus nidificus* Loew., *Fonscolombea fraxini* Kalt., *Psyllopsis fraxini* L., *Tortrix convayana* F., *Pseudargyrotoza conwayana* и др. Сделан вывод, что туберкулез ясеня не только снижает техническое качество древесины, но и значительно нарушает физиолого-биохимические процессы, что в конечном счете приводит к негативным экологическим (разрушение целостности биогеоценоза лесного насаждения) и экономическим (фаутность древесины) последствиям.

*Ключевые слова:* ясень обыкновенный, патогенез, туберкулез, симптоматика, вредоносность, распространенность, генеративные и вегетативные органы.

Ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior* L.) – лекарственное, таннидоносное, жиро- и эфиромасличное, пищевое, витаминное, кормовое, декоративное, фитомелиоративное и пыльценозное древесное растение [2].

Благодаря биологическим особенностям и большой экологической пластичности, в частности значительной теневыносливости в первые годы жизни, ясень обыкновенный выступает неотъемлемым компонентом (как сопутствующая порода) во многих лесных ассоциациях, формируя при этом высокобо-

нитетные насаждения вместе с дубом обыкновенным (*Quercus robur* L.) и грабом обыкновенным (*Carpinus betulus* L.). Однако встречаются и чистые ясеневые древостои, которые также отличаются высокой производительностью в исследуемом регионе.

В последние годы наблюдается массовое усыхание многих древесных пород, в частности сосны и ели, а также ясеня обыкновенного в насаждениях с его участием, которое распространено практически по всему ареалу растений рода *Fraxinus* L. Существует большое количество публикаций, посвященных изучению причин, которые вызывают патологические изменения ясеневых древостоев, и разработке мер по ограничению распространности и вредоносности данного процесса.

Общим в патологии ясеня обыкновенного является поражение как вегетативных, так и генеративных органов, что приводит не только к снижению технического качества древесины, но и к значительному нарушению физиолого-биохимических процессов, что в конечном счете приводит к негативным экологическим (разрушение целостности биогеоценоза лесного насаждения) и экономическим (фаутность древесины) последствиям. Поражения генеративных органов создают угрозу семенного возобновления ясеня. Кроме того, такие деревья являются своего рода «инкубаторами» для различных инфекционных и неинфекционных болезней и повреждений. Отпад деревьев носит динамичный характер и имеет тенденцию к росту. Учитывая интенсивное распространение патологии *F. excelsior* L., необходимость быстрой диагностики и идентификации возбудителя, недостаточное изучение влияния на процессы жизнедеятельности деревьев лесоводственно-экологических факторов, считаем актуальным выбранное направление исследований.

Цель исследований – изучить распространенность и вредоносность туберкулеза ясеня обыкновенного в насаждениях различного возраста, состава, полноты, происхождения и т. д. в свежих дубравах Западного Подолья Украины в контексте комплексной оценки их санитарного состояния.

#### *Материалы и методика исследований*

Объект исследования – древостой с участием ясеня обыкновенного, а также вегетативные и генеративные органы деревьев *F. excelsior* L. с характерными симптомами бактериальной патологии.

Материал для исследований был собран в условиях свежих дубрав Западного Подолья Украины, которые являются оптимальными для роста высокопроизводительных широколиственных лесов с участием *F. excelsior* L. В целях установления зависимости распространения туберкулеза ясеня обыкновенного от лесоводственно-таксационных показателей (структурного анализа насаждения по составу, типов лесорастительных условий, полноты и возраста как предпосылки для формирования биологически устойчивых и высокопроизводительных насаждений) нами в регионе исследований (ГП «Чертковское ЛГ», ГП «Тернопольское ЛГ», ГП «Бучацкое ЛГ» и др.) были заложены



23 временные пробные площади преимущественно в условиях свежих грабовых дубрав (D<sub>2</sub>), которые репрезентуют дубравы региона исследований.

В процессе работы применялись рекогносцировочные и детальные методы лесопатологических обследований, а также методы фитопатологических, микробиологических и микологических исследований по общепринятым методикам [3]. Микробиологические и микологические исследования проведены на базе Института микробиологии и вирусологии им. Д.К. Заболотного НАН Украины.

#### *Результаты исследований*

Природно-климатические и эдафо-гидрологические условия Западного Подолья благоприятны для формирования высокопродуктивных насаждений с участием ясеня обыкновенного. Регион исследований характеризуется относительно влажным климатом с умеренно холодной зимой и умеренно теплым летом и обильными осадками.

Лесистость здесь невысокая (11 %) и увеличивается с востока на запад. Преобладающим типом лесорастительных условий являются дубравы и судубравы, которые занимают более 80 % площади лесов региона и представлены в основном свежими и влажными гигротопами.

С разных точек планеты поступают известия о похожей и отличающейся по симптоматике патологии, причиной которой называют грибы [7], бактерии [1, 4, 9, 10], нематоды [6], вредоносную энтомофауну, климатические и почвенно-гидрологические условия и т. д. Все это свидетельствует о сложности проблемы и следует согласиться, что массовое усыхание и гибель ясеневых насаждений является следствием действия комплекса неблагоприятных факторов. Поэтому утверждать о первопричинах этого процесса можно только, охватив весь спектр возможных возбудителей (причин) патологии [1, 5–10].

В исследуемом регионе наиболее опасным и распространенным заболеванием в насаждениях с его участием является туберкулез (бактериальный рак), возбудитель которого – фитопатогенная бактерия *P. syringae* pv. *savastanoi*. Возбудитель поражает стволы, ветви и репродуктивные органы ясеня обыкновенного, что, безусловно, обесценивает деловую древесину (в спелых насаждениях), приводит к 100 %-м поражениям (в порослевых молодняках) и в дальнейшем может стать угрозой полного исчезновения (за счет удаления во время рубок формирования и оздоровления лесов и санитарных рубок) одного из ценных компонентов лесного ценоза дубрав Западного Подолья – ясеня обыкновенного.

На основе проанализированных литературных источников, собственных обследований и исследований насаждений с участием ясеня обыкновенного выделены основные стадии (этапы) течения патологического процесса туберкулеза ясеня, что позволяет вовремя распознать пораженное дерево и разработать защитные мероприятия для каждой возрастной группы с учетом особенностей (этапов) патогенеза.

*Этап 1 «Парша».* Первичные типичные симптомы болезни проявляются на ветвях и стволах с гладкой (первичной) серовато-зеленой корой и харак-

теризуются незначительным локальным вздутием верхнего слоя клеток коры, появлением микротрещин и небольших эллипсообразных мягких опухолей, напоминающих паршу (рис. 1, *a*), которые могут появиться как в верхней, так и в нижней части ствола, и заполнения пустот серой липкой бактериальной массой без запаха [4].

*Этап 2 «Распространение».* Из года в год происходит образование (распространение) новых очагов поражения по длине и периметру всего ствола (ветви) ясеня обыкновенного. Процесс длительный, но динамичный. Новые опухоли могут появиться выше и ниже места основного поражения без определенной зависимости и последовательности: на корнях, корневых лапах, по длине ствола, на тонких ветвях кроны.

*Этап 3 «Туберкулез».* На данном этапе формируется типичная туберкулезная опухоль при слиянии очагов поражения, она заметно увеличивается в размерах как по длине, так и по периметру, стремясь окольцевать ветку или ствол. Происходит деформация пораженного органа. В отдельных случаях при наличии смешанной бактериально-грибной инфекции на стволах могут образовываться типичные язвы, которые связаны с возбудителем ступенчатого рака лиственных пород *Nectria galligena* Bres. (анаморфа – *Cylindrocarpon heteronema* (Berk. et Br.) Wz. Следует отметить, что ступенчатый рак ясеня – это самостоятельное заболевание, которое как по этиологии, так и по патогенезу резко отличается от туберкулеза ясеня.

*Этап 4 «Метаморфозы генеративных органов».* Для бактериального поражения вообще и туберкулеза ясеня в частности характерно диффузное поражение, т. е. инфекция содержится во всех органах растений, в том числе и в водопроводящей системе. Именно с этим связано инфицирование завязи с последующим формированием мелких семян вместо типичных, в начале различных оттенков фиолетового цвета, со временем – темно-коричневых опухолей.

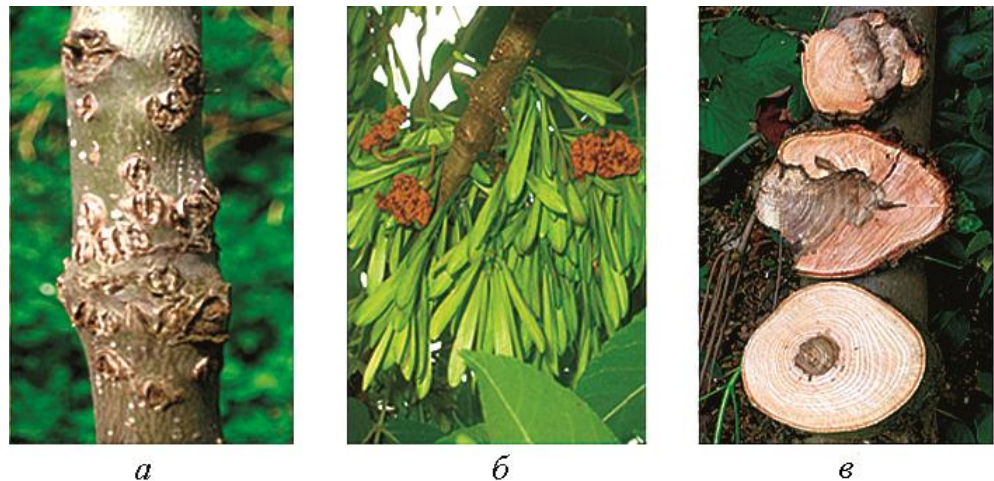


Рис. 1. Патогенез туберкулеза ясеня обыкновенного: *a* – парша; *б* – метаморфозы генеративных органов; *в* – пороки древесины

Эти опухоли плотно прилегают друг к другу (не срастаясь между собой), формируя достаточно большие опухоли, которые напоминают гроздья винограда (уменьшенный вариант) [4]. Как правило, на деревьях с характерными признаками поражения туберкулезом ясеня наблюдается сплошное поражение крылаток, но порой возможно образование нормальных и больных экземпляров на одном растении (рис. 1, б), что, очевидно, связано с патогенностью, агрессивностью и вирулентностью возбудителя туберкулеза, степенью поражения сосудистой системы дерева, а также с определенными различиями в физиологии отдельных деревьев и их резистентностью к описанному возбудителю.

*Этап 5 «Пороки древесины».* При глубокой патологии в древесине формируются большие или меньшие пустоты, каверны, раковины, иногда гнилые участки, заполненные темной массой (рис. 1, в).

*Этап 6 «Гниение».* Формирование центров гниения в местах образования открытых поражений. Гниение древесины связано главным образом с дереворазрушающими грибами, которые появляются на заключительных этапах патологии.

Исследование механизма зарождения и развития болезни и отдельных ее проявлений, проведенные нами в насаждениях ясеня обыкновенного различного состава, возраста, полноты, происхождения, позволяет сделать сравнение и выделить особенности патологического процесса на участках с близкими условиями произрастания, но с разными таксационными показателями.

Анализируя результаты по распространению туберкулеза ясеня в насаждениях различного состава, можно утверждать, что микроклимат чистого ясеневого насаждения является более благоприятным для развития и распространения возбудителя туберкулеза ясеня. Наблюдается четкая зависимость: при уменьшении ясеня обыкновенного (при прочих равных условиях) в составе насаждения количество пораженных возбудителем туберкулеза деревьев ясеня снижается и достигает минимума при его участии в насаждении в пределах ценотического оптимума. Так, если в чистом ясеневом насаждении нами было выявлено 42,2 % пораженных деревьев, то при составе насаждения 9Яс1Гз распространение болезни составило 36,1 %, в насаждениях состава 8Яс2Лп + Ял + Вхч + Гз, 7Яс2Гз1Лп + Бп, 6Яс2Лп2Гз + Дз, 5Яс1Дз1Яв2Мд1Гз, 4Яс1Дз1Дч4Гз + Кл + Лпд + Мд, 3Яс1Дз2Лпд4Гз + Яв – соответственно 32,8; 28,5; 25,3; 20,0; 17,7 и 9,7 % больных туберкулезом деревьев ясеня обыкновенного.

Подавляющее большинство ясеневых древостоев в регионе исследования имеют полноту 0,7...0,8. Многие насаждения являются перегущенными. Это приводит к ослаблению деревьев в процессе внутри- и межвидовой борьбы, а также способствует передаче инфекции контактным путем. В таких насаждениях возрастает опасность снего- и бурелома. Густое стояние деревьев ведет к недостаточному развитию кроны и дальнейшему снижению прироста стволов по диаметру.

Установлено, что с ростом полноты (при прочих равных факторах) увеличивается и распространенность туберкулеза. Так, при полноте 0,50 было

поражено 10,2 % деревьев, при полноте 0,61 – 13,8 %, при 0,70 – 16,9 %, при 0,81 – 20,0 %, при 0,87 – 29,2 %, т. е. этот показатель увеличился почти в 3 раза по отношению к полноте 0,50. Итак, большая плотность ясеня на единицу площади создает благоприятные условия для распространения болезни различными носителями (насекомыми, человеком, животными, ветром, дождевой водой), в том числе и контактным путем. Возможно, с этим связано высокое распространение туберкулеза ясеня на молодой поросли от пня.

Известно [2], что способы лесовосстановления непосредственно влияют на биологическую устойчивость насаждений.

Особого внимания заслуживает естественное семенное возобновление ясеня обыкновенного. Количество самосева и подроста и их породный состав в ясеневых насаждениях Западного Подолья колеблется от 2 до 24 тыс. шт./га и во многом зависит от интенсивности развития травяного покрова и подлеска. В большинстве насаждений наблюдается хорошее и удовлетворительное естественное семенное возобновление ясеня обыкновенного, что свидетельствует о коренной фитоценотической природе ясеневых лесов в этих условиях. Здесь наблюдается наименьшее поражение деревьев ясеня обыкновенного туберкулезом – 10,3 % (средневзвешенный показатель). Устойчивость насаждений семенного происхождения подтверждается тем, что исследованные нами древостои перестойного возраста до сих пор выполняют свою роль в биогеоценозе, практически не имея симптомов поражения *P. syringae* *pv.* *savastanoi* на стволах и ветках (поражение отдельных генеративных органов).

В насаждениях искусственного происхождения (лесные культуры) процент поражения туберкулезом ясеня колеблется в значительной степени в зависимости от состава и возраста насаждения, однако общее санитарное в состоянии, как и средневзвешенный процент поражения, выше, чем в насаждениях естественного семенного происхождения, и составляет 17,7 %. Большую пораженность культур по сравнению с естественным семенным насаждением можно объяснить тем, что на участке с естественным возобновлением ясень расположен по территории не так равномерно, как в культурах, т. е. уменьшается вероятность передачи инфекции контактным путем. Кроме того, самосев генетически и экологически лучше соответствует конкретным лесорастительным условиям.

Особую тревогу вызывают порослевые насаждения. Обследование порослевого ясеня, особенно поросли от пня, свидетельствует о том, что в исследуемом регионе болезнь практически достигла эпифитотии. При средневзвешенном проценте поражения молодой поросли (30,8 %) нами были выявлены отдельные участки, где количество пораженных растений ясеня вегетативного происхождения достигало 80...100 %. Учитывая особенности развития туберкулеза, нельзя рассчитывать на получение качественной древесины, если на деревьях в молодом возрасте есть хотя бы единичные поражения возбудителем. Учитывая высокую контагиозность возбудителя болезни, при проведении рубок ухода за лесом необходимо удалять пораженные деревья, в первую очередь порослевые.

Среди возрастных групп ясеневых насаждений Западного Подолья преобладают средневековые и приспевающие, которые составляют около 58 % площадей. Наименьшую площадь занимают спелые и перестойные насаждения – 2,3 тыс. га (18,0 %).

Наши исследования показали, что наиболее распространенным и вредоносным заболеванием ясеня обыкновенного является туберкулез (возбудитель – *P. syringae* pv. *savastanoi*), поражающий как вегетативные, так и генеративные органы этого древесного растения (на листьях ясеня туберкулез нами не обнаружен: листья нечувствительны к этому возбудителю даже при искусственном заражении). Возбудитель болезни изолирован нами с соцветий, крылаток, веток и древесины ясеня обыкновенного методами посева растертых образцов и обрас- тания пораженных тканей (рис. 2).

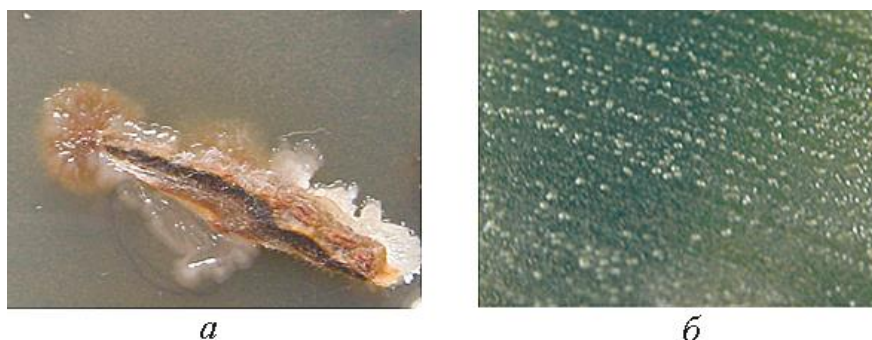


Рис. 2. Выделение бактерий методом обрас- тания пораженных тканей (а) и чистая культура *P. syringae* pv. *savastanoi* на картофельном агаре (б)

Изолированные фитопатогенные бактерии проявляли высокие патогенные свойства и при искусственном инфицировании. В частности, с пораженных генеративных органов были выделены *P. syringae* pv. *savastanoi* и желтопигментные бактерии, отнесенные нами к роду *Xantomonas* sp. [1]. По результатам искусственного заражения изоляты проявили патогенность как на крылатках (рис. 3, а), молодых стволах (ветках) ясеня (рис. 3, б), так и на индикаторных растениях (рис. 3, в). При этом они были непатогенны к листьям ясеня обыкновенного (оставались лишь незначительные повреждения листовой пластинки в местах внесения бактериального инокулюма).

Клетки возбудителя туберкулеза ясеня обыкновенного типичны для рода *Pseudomonas* и представляют собой подвижные палочки размером 0,4...0,8 × 1,3...3,0 мкм. Грамотрицательные размещены одиночно, парами или короткими цепочками, иногда группами; лофотрихи – с 1...6 полярными жгутиками. На КА колонии серо-белые, гладкие, круглые, прозрачные, с более плотным центром, с ровным или слегка волнистым, иногда с голубым оттенком, краем. Обладают способностью к флюоресценции. Оксидазонегативные. Каталазоположительные. Споры не образуют. Нитраты редуцируют. Ливан не образуют.

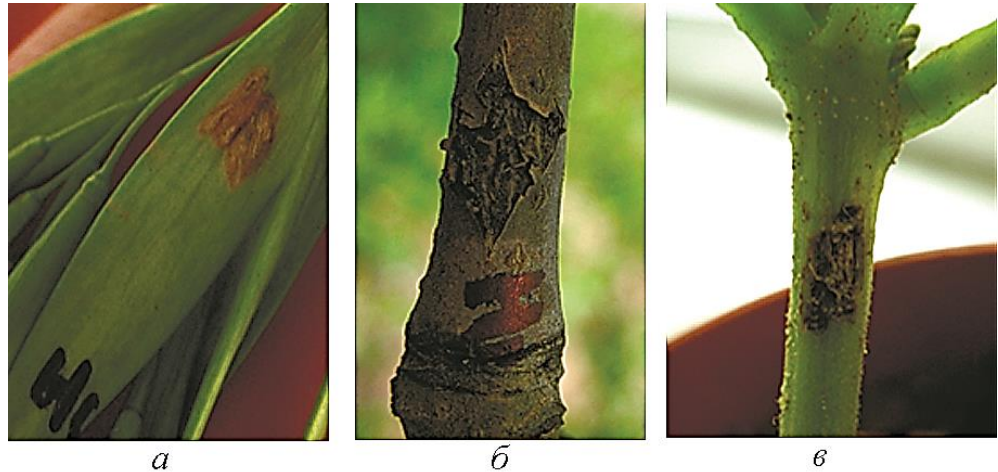


Рис. 3. Крылатка ясеня (а), ветка ясеня обыкновенного (б), стебель фасоли (в), пораженные *P. syringae pv. savastanoi* (искусственное заражение)

Желатин не гидролизуют. Глюкозу используют аэробно. Не используют лактозу, ксилозу, рамнозу, трегалозу, раффинозу *L*-арабинозу, мальтозу, сорбитол, салицин. Используют сахарозу, галактозу, фруктозу, глицерин, маннитол, цитрат.

Проявляют высокие патогенные свойства как на ясене обыкновенном, так и на индикаторных растениях (табак, фасоль, каланхоэ).

#### Выводы

1. Наиболее распространенным и вредоносным заболеванием ясеня обыкновенного в условиях Западного Подолья Украины является туберкулез, возбудитель которого – фитопатогенная бактерия *P. syringae pv. savastanoi* – поражает как вегетативные, так и генеративные органы этого древесного растения (на листьях туберкулез нами не обнаружен, т. е. они не чувствительны к *P. syringae pv. savastanoi* даже при искусственном заражении).

2. Высокой восприимчивостью к возбудителю туберкулеза отличается молодой порослевый ясень, особенно поросль от пня, где нередко бывает поражено в различной степени развития болезни до 80...100 % растений.

3. Учитывая особенности развития туберкулеза, нельзя рассчитывать на получение качественной древесины, если в молодом возрасте деревьев на них есть хотя бы единичные поражения возбудителем туберкулеза. Поэтому при проведении рубок ухода за лесом необходимо удалять пораженные деревья, в первую очередь – порослевые.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гойчук А.Ф., Кульбанська І.М. Патологія ясеня звичайного в насадженнях Західного Поділля//Лісове і садово-паркове господарство: електронний науковий журн. Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/licgos\\_2013\\_3\\_3.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/licgos_2013_3_3.pdf)

2. Гордиенко М.И., Гордиенко Н.М. Лесоводческие свойства древесных растений. М.: ООО Весть, 2005. 817 с.

3. Бельтюкова К.И., Матышевская М.С., Куликовская М.Д., Сидоренко С.С. Методы исследования возбудителей бактериальных болезней растений. К.: Наук. думка, 1968. 316 с.

4. Гойчук А.Ф., Гордієнко М.І., Гордієнко Н.М. Патологія дібров: монографія /За ред. М. І. Гордієнка. 2-ге вид., перероб. і доп. К.: ННЦ ІАЕ, 2004. 470 с.

5. Шемякин И.Я. Бактериальный рак ясеня обыкновенного//Науч. тр. Воронеж. лесохозяйственного ин-та. Воронеж: Гослестехиздат, 1948. С. 112–114.

6. Черпаков В.В. Бактериальные болезни лесных пород в патологии леса//Изв. СПбГЛТУ. Вып. 200. СПб.: СПб ГЛТУ, 2012. С. 292–303.

7. Davydenko K., Vasaitis R., Stenlid J., Menkis A. Fungi in foliage and shoots of *Fraxinus excelsior* in eastern Ukraine: a first report on *Hymenoscyphus pseudoalbidus*//For. Pathol. 2013. Vol. 43. P. 462–467.

8. Hibben, C.R., Walker J.T. Nematode transmission of the ash strain of tobaccoring-spot virus: Plant Dis. Pis. Repr. 55. 1971. P. 475–478.

9. Kowalski T., Holdenrieder O. Chalara fraxinea causes dieback of ash (*Fraxinus excelsior*) in Europe report//For. Pathol. 2009. Vol. 39. P. 1–7.

10. Thomsen I.M., Skovsgaard J.P., Barklund P., Vasaitis R. Fungal disease is the cause of ash dieback//Skoven. 2007. Vol. 39. P. 234–236.

Поступила 19.05.15

UDC 630\*17:582.931.4:632.35

### European Ash (*Fraxinus excelsior*) Pathogenesis of Tuberculosis in Terms of Western Podolia of Ukraine

*I.N. Kul'banskaya, Applicant*

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Heroyiv Oborony st., 15, Kiev, 03041, Ukraine; e-mail: i\_kulbanska@ukr.net

The paper summarizes the results of a study of symptoms, prevalence and harmfulness of the most common and dangerous European ash disease – tuberculosis. Pathogen is a pathogenic bacterium *Pseudomonas syringae* pv. *savastanoi* (Smith 1908), that affects trunks, branches, browses and ash inflorescences. The stages of disease pathogenesis, provided by a brief description of the pathogen are dedicated. It is established that bacteria can infect the trees starting from one–two years of age. Thus, instead of a smooth greenish-gray crust there are formed small ellipsoid soft tumors due to the local bark exfoliation and filling of voids by gray sticky bacterial odorless mass. In time, the affected trunk parts become more flat and cracked, cambium and phloem in the middle part die and deteriorate. A crack is formed in the center of tuberculous formation, which eventually occludes. Every year new formation of tuberculous affects cover the length and perimeter of a trunk. As a result, the specific perennial affects are formed, resembling scab. The young ash coppice is of a high susceptibility to Mycobacterium tuberculosis, especially a coppice shoot, which is often affected (in varying degrees of illness) to 80...100 % of plants. The harmful entomofaunal forms, which are presented by *Ligniodes enucleator* Panz., *Dasineura fraxini* Kieff., *Prociphilus nidificus* Loew., *Fonscolombea fraxini* Kalt., *Psyllopsis fraxini* L., *Tortrix convayana* F., *Pseudargyrotoza conwayana* and others are found on genesic organs of ash. It is concluded,



that tuberculosis of ash leads not only to lower technical wood quality, but also to a significant failure of physiological and biochemical processes, that ultimately leads to ecological backlash (desintegration of the integrity of forest plantations biogeocoenosis) and economic (wood defectiveness) impact.

*Keywords:* european ash (*Fraxinus excelsior* L.), Pathogenesis, tuberculosis, symptomatology, injuriousness, extension of plants disease, genesic and vegetative organs.

#### REFERENCES

1. Goychuk A.F., Kul'bans'kaya I.M. Patologiya yasena zvichaynogo v nasadzhennyakh Zakhidnogo Podillya [Pathology of European Ash in Forests of West Podolia]. *Lisove i sadovo-parkove gospodarstvo* [Forestry and Horticulture]. Available at: [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/licgoc\\_2013\\_3\\_3.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/licgoc_2013_3_3.pdf).
2. Gordienko M.I., Gordienko N.M. *Lesovodcheskie svoystva drevesnykh rasteniy* [Silvicultural Properties of Woody Plants]. Moscow, 2005. 817 p.
3. Bel'tyukova K.I., Matyshevskaya M.S., Kulikovskaya M.D., Sidorenko S.S. *Metody issledovaniya vzbuditeley bakterial'nykh bolezney rasteniy* [Research Methods of Causative Agents of Bacterial Diseases of Plants]. Kiev, 1968. 316 p.
4. Goychuk A.F., Gordienko M.I., Gordienko N.M. et al. *Patologiya dibrov: monografiya* [Pathology of Oak: Monograph]. Kiev: HHI IAE, 2004. 470 p.
5. Shemyakin I.Ya. Bakterial'nyy rak yaseny obyknovennogo [Bacterial Canker of European Ash]. *Nauchnye trudy Voronezhskogo lesokhozyaystvennogo instituta* [Scholarly Works of Voronezh Forestry Institute], 1948, pp. 112–114.
6. Cherpakov V.V. Bakterial'nye bolezni lesnykh porod v patologii lesa [Bacterial Diseases of Forest Trees in the Forest Pathology]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii*, 2012, iss. 200, pp. 292–303.
7. Davydenko K., Vasaitis R., Stenlid J., Menkis A. Fungi in Foliage and Shoots of *Fraxinus excelsior* in Eastern Ukraine: a First Report on *Hymenoscyphus pseudoalbidus*. *For. Path.*, 2013, vol.43, pp. 462–467.
8. Hibben C.R., Walker J.T. 1971. *Nematode Transmission of the Ash Strain of Tobacco ringspot Virus*: Plant Dis. Pis. Repr. 55, pp. 475–478.
9. Kowalski T., Holdenrieder O. Chalara Fraxinea Causes Dieback of Ash (*Fraxinus excelsior*) in Europe Report. *For. Pathol.*, 2009, no. 39, pp. 1–7.
10. Thomsen I.M., Skovsgaard J.P., Barklund P., Vasaitis R. Fungal Disease is the Cause of Ash Dieback. *Skoven.*, 2007, vol. 39, pp. 234–236.

Received on May 19, 2015

DOI:10.17238/issn0536-1036.2015.6.75

---





МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ  
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК [674.049.2+674.046.7]

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОЦЕССА  
ТЕРМИЧЕСКОЙ МОДИФИКАЦИИ ДРЕВЕСИНЫ  
НА ИЗМЕНЕНИЕ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ  
И МОДУЛЯ УПРУГОСТИ ПРИ СТАТИЧЕСКОМ ИЗГИБЕ**

© *Е.С. Шарпов, канд. техн. наук, доц.*

*А.С. Торопов, д-р. техн. наук, проф.*

*А.С. Королев, асп.*

Поволжский государственный технологический университет, пл. Ленина, 3, г. Йошкар-Ола, Республика Марий Эл, Россия, 424000; e-mail: sharapoves@volgatech.net

В работе представлены результаты экспериментальных исследований физико-механических свойств термически обработанной древесины сосны (*Pinus sylvestris*), березы (*Bétula Péndula*), дуба (*Quércus Róbur*), осины (*Tilia europaea*) и липы (*Pópulus trémula*). Термическая обработка образцов осуществлялась в пароконвекционной камере, в среде насыщенного водяного пара при атмосферном давлении, максимальных температурах 180, 200 и 220 °С и длительности обработки при пиковых значениях до 3 ч. Определены потери массы и изменение плотности в абсолютно сухом состоянии, стандартная влажность древесины, модуль упругости и предел прочности при статическом изгибе. Установлено, что повышение потери массы характерно для всех пород, при этом наибольшие значения параметра отмечены для древесины дуба, липы и осины (в среднем на 17,8; 13,4 и 16,5 % соответственно) при максимальной температуре 220 °С. Плотность термически модифицированной древесины снижается при повышении температуры обработки и достигает минимальных значений для древесины дуба и осины. Модуль упругости при статическом изгибе повышается в среднем для различных пород на 10...20 % для пиковых температур обработки 180 и 200 °С и снижается при последующем повышении температуры до 220 °С. Предел прочности при статическом изгибе повышается для образцов березы в среднем на 12,5, сосны – 14,5, липы – 9,2 %, обработанных при 180 °С. С повышением пиковой температуры обработки до 200 °С максимальное снижение предела прочности отмечено у образцов дуба (в среднем на 19,5 %). Для образцов березы и липы снижение было незначительным и составило в среднем 3,5 и 0,5 % по сравнению с немодифицированными образцами. У образцов осины отмечено увеличение предела прочности на 23,0 и 11,5 % соответственно при 180 и 200 °С. Максимальное снижение предела прочности при статическом изгибе зафиксировано для всех пород при температуре термической обработки 220 °С, что по сравнению с немодифицированными образцами древесины березы составило 31,5, дуба – 38,9, сосны – 9,5, липы – 4,6, осины – 11,5 %.

*Ключевые слова:* термически модифицированная древесина, потеря массы, плотность, предел прочности при статическом изгибе, статический модуль упругости.

*Введение*

Изучение процесса термической обработки, а также свойств модифицированной древесины осуществляется на протяжении многих лет. Возросший интерес исследователей к этой проблеме в последнее десятилетие связан с научным обоснованием химических изменений в древесине при воздействии на нее высоких температур [7]. Физические и механические свойства новых материалов, получаемых при использовании различных технологий, представлены ведущими западно-европейскими и российскими университетами и научными центрами в области изучения свойств древесины и древесных материалов [1, 5, 7, 8, 12, 14]. Развитие и накопление знаний в обозначенном направлении возможно путем расширения использования породного состава, произрастающего в различных условиях, в частности в условиях Среднего Поволжья РФ.

Результаты исследований изгиба (EN 408) образцов древесины ели (*Picea abies*) и сосны (*Pinus sylvestris*) представлены в работе [4]. В эксперименте использовали брусья сечением 45×145 мм, термически модифицированные при максимальной температуре 220 °С. По результатам исследований статический предел прочности для обеих пород снизился примерно на 50 % при этом статический модуль упругости уменьшился всего лишь на 3,5 %.

Образцы сечением 38×100 мм из древесины ели (*Picea abies*), обработанные при 230 °С («ThermoWood») показали снижение предела прочности при изгибе в среднем на 40 % (EN 408). Значительные изменения в механической прочности образцов авторы [14] связывают с пороками, в области которых концентрируются разрушающие напряжения после термической обработки.

Исследованию предела прочности и модуля упругости при статическом изгибе подвергались образцы (20×20 мм, DIN 52186) из древесины сосны (*Pinus radiata*, *P. sylvestris*) и ели, термически обработанные по технологии «Plato» [5]. Наблюдалось лишь незначительное снижение предела прочности при статическом изгибе на 3 % образцов из древесины сосны (*Pinus sylvestris*) при небольшом повышении модуля упругости.

В работе [13] представлены результаты механических испытаний образцов (20×20 мм, TS 2474 и TS 2478) сосны (*Pinus Brutia*), термически обработанных при атмосферном давлении и температуре 130,180 и 230 °С. Автор [7] отмечает снижение пределов прочности при статическом изгибе до 60 %. Аналогичные результаты были получены при изучении свойств термически обработанной сосны (*Pinus pinaster*) и эвкалипта (*Eucalyptus globulus*). Предел прочности снижался в соответствии с изменением потери массы образцов предельно на 40 % для сосны и до 60 % для эвкалипта.

Необходимо отметить результаты механических испытаний древесины различных пород, в том числе и при статическом изгибе, представленные в работе [1]. Однако, как отмечает автор, данные по пределам прочности дали противоположную динамику для различных пород.

Исследования физико-механических характеристик термически модифицированной сосны (*Pinus sylvestris*) представлены в работе [10]. Снижение предела прочности на 25 % (ISO 3133:1975) проявилось лишь после 6 и 8 ч выдержки, тогда как модуль упругости не снижался более чем на 6 %.

При статическом изгибе древесины груши (*Pyrus elaeagnifolia*) снижение предела прочности подтверждено в экспериментах [6]. Обработка древесины осуществлялась в камере при атмосферном давлении и температуре 160, 180 и 200 °С. Надо отметить, что при 6-часовой обработке и температуре 180 °С предел прочности при статическом изгибе уменьшался до 19 %.

Исследовано влияние влажности на предел прочности и модуль упругости при статическом изгибе термически модифицированной древесины ясеня (*Fraxinus excelsior*), бука (*Fagus sylvatica*), пихты (*Abies alba*) и ели (*Picea abies*) [3]. Установлено, что повышение влажности (выдержка в климатической камере) практически уравнивает средние значения и вариацию предела прочности необработанных и модифицированных образцов.

В работе [9] представлены результаты химического анализа и физико-химических испытаний образцов древесины ели (*Picea abies*). Установлена математическая зависимость потери массы и предела прочности при статическом изгибе, в работе [11] – данные о физико-механических свойствах термически обработанной ели (*Picea sitchensis*) при пиковой температуре обработки 160 °С. Для сравнения модификацию осуществляли в воздушной среде и в среде азота. Отмечено повышение статического модуля упругости образцов.

В рассмотренных и других научных публикациях большинство ученых отмечают снижение предела прочности при статическом изгибе термически обработанной древесины в соответствии с повышением пиковых температур и длительности выдержки. Модуль упругости имеет иной закон изменения с незначительным повышением в пределах температур 160...180 °С с последующим снижением при повышении максимальных температур обработки. Необходимо отметить, что решающее значение имеют технология термической обработки, порода древесины, размер образцов, их исходная влажность и влажность во время испытаний.

Целью данной работы являлось экспериментальное определение влияния процесса термической обработки на модуль упругости и предел прочности при статическом изгибе образцов древесины сосны (*Pinus sylvestris*), березы (*Bétula Péndula*), дуба (*Quércus Róbur*), осины (*Tilia europaea*) и липы (*Pópulus trémula*).

#### *Материалы и методы*

Для определения предела прочности и модуля упругости при статическом изгибе было изготовлено по 200 образцов каждой из пяти пород размерами 20×20×300 мм из заболонной древесины без пороков. В целях определения потери массы, изменения плотности и стандартной влажности из заболонной древесины этих же пород было изготовлено по 30 дополнительных образцов размерами 20×20×30 мм. Все образцы выпиливали из центральной доски (в соответствии с требованиями ГОСТ 16483.0–89) с параллельным

расположением годичных слоев и минимальным углом наклона волокон к боковым поверхностям (для механических испытаний).

Потерю массы и изменение плотности  $\Delta_{m(\rho)}$  дополнительных образцов до и после процесса термической обработки определяли в абсолютно сухом состоянии стереометрическим методом по ГОСТ 16483.1–84, ГОСТ 16483.7–71, используя универсальный сушильный шкаф и аналитические весы ViBRA AF-R220CE (Shinko Denshi Co. Ltd., Япония) с точностью  $10^{-3}$  г, электронный штангенциркуль с точностью 0,01 мм:

$$\Delta_{m(\rho)} = \frac{m_{0_1}(\rho_{0_1}) - m_{0_2}(\rho_{0_2})}{m_{0_1}(\rho_{0_1})} 100 \%,$$

где  $m_{0_1}$   $m_{0_2}$  – масса образца в абс. сухом состоянии до и после термической обработки, г;

$\rho_{0_1}$ ,  $\rho_{0_2}$  – плотность, образца в абсолютно сухом состоянии до и после термической обработки, кг/м<sup>3</sup>.

Термическую обработку образцов осуществляли в пароконвекционной камере XVC 305 EP (UNOX S.p.A., Italy) в среде насыщенного водяного пара при атмосферном давлении. Температуру повышали ступенчато с первоначальной выдержкой при 50 и 103 °С и в дальнейшем с повышением на 10...20 °С до максимальных температур 180, 200 и 220 °С. Длительность обработки при пиковых значениях 2...3 ч.

После процесса термической обработки дополнительные образцы помещали в сушильную камеру в целях определения массы и плотности. Затем все образцы выдерживали в лабораторной климатической камере до достижения равновесной (стандартной) влажности (ГОСТ 16483.7–71).

Механические испытания по определению предела прочности и модуля упругости при статическом изгибе (ГОСТ 16483.3–84, ГОСТ 16483.9–73) проводили в аккредитованной испытательной лаборатории мебели и изделий из древесины Поволжского государственного технологического университета на универсальной испытательной машине AG-50kNXD с использованием программного комплекса «TRAPEZIUMX» (Shimadzu, Япония) (рис. 1).

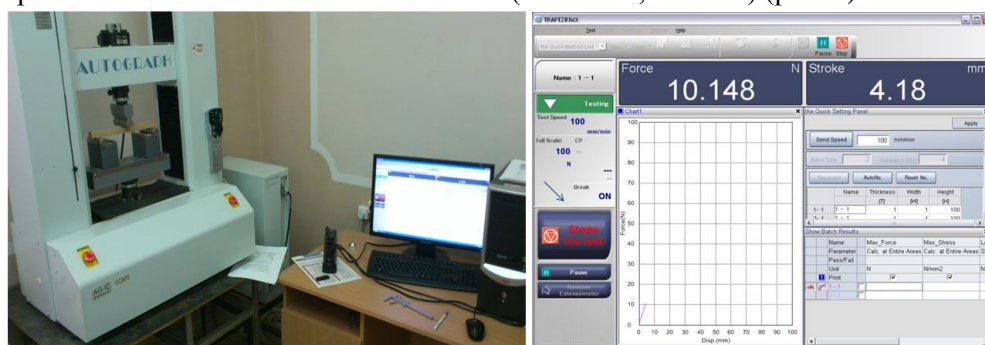


Рис. 1. Универсальная испытательная машина AG-50kNXD (а) и окно диаграммы «усилие–деформация» в программном комплексе «TRAPEZIUMX» (б)

Образцы устанавливали так, чтобы изгибающее усилие было направлено по касательной к годичным слоям. Нагружение образцов осуществляли равномерно со скоростью 4 мм/мин. Испытание проводили до момента снижения усилия при разрушении от максимального более чем на 30%. Статический модуль упругости определяли на прямолинейном участке диаграммы статического изгиба в пределах нагружения 150...500 Н в зависимости от потери массы и породы древесины. Результаты испытания отображались на ЭВМ в программном комплексе управления данными «TRAPEZIUM X», который позволяет не только полностью автоматизировать процесс исследования, но и осуществляет первичную обработку экспериментальных данных. Статистическую обработку результатов исследований проводили в программном комплексе «Statistica 10» (StatSoft, Inc., Tulsa, США).

#### Результаты исследования и их обсуждение

Потеря массы образцов представлена на рис. 2. На основании результатов можно утверждать, что с повышением пиковых температур и общей продолжительности процесса термической обработки потеря массы повышается. При этом для двух максимальных температур (180 и 200 °С) не наблюдается больших колебаний параметра как при сравнении средних значений между различными породами (для 180 °С – 1,1...2,6 %, для 200 °С – 3,3...6,5 %) так и внутри выборки по каждой породе. При этом с повышением максимальной температуры обработки до 220 °С прослеживается резкое повышение потери массы образцов из древесины дуба, липы и осины до 17,8; 13,4 и 16,5 % по сравнению с эталонными. Образцы из березы и сосны показали более скромные результаты (8,2 и 8,1 % соответственно). Следует отметить также и стандартное отклонение выходной величины внутри выборок по породам, здесь в процессе обработки при 220 °С вариация намного выше (рис. 2).

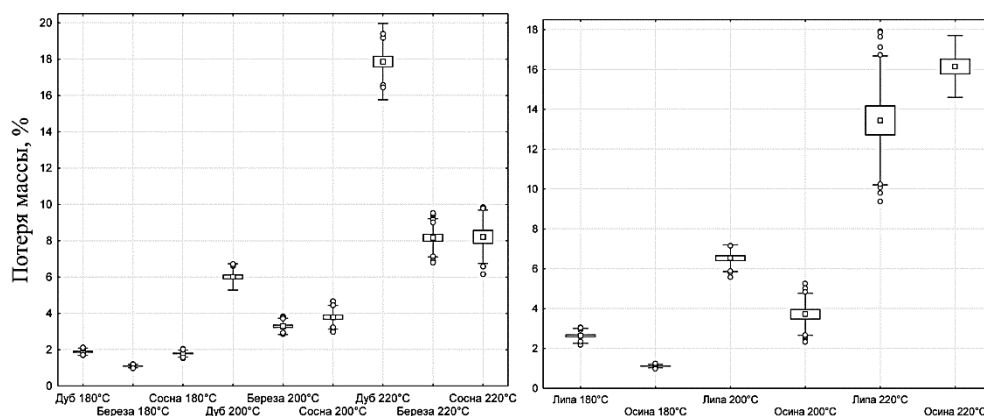


Рис. 2. Потеря массы образцов древесины сосны, березы, дуба, осины и липы после термической модификации при пиковых температурах 180, 200 и 220 °С (□ – среднее значение выборки, □ – стандартная ошибка, I – стандартное отклонение, ○ – выбросы)

В результате молекулярных изменений в структуре древесины под действием высоких температур происходит первоначальное разложение смол с последующей деполимеризацией полисахаридов и лигнина [7, 8, 12]. Вследствие химических изменений в структуре древесины происходит изменение ее плотности в абс. сухом состоянии, представленное на рис. 3. Уменьшение плотности образцов обусловлено изменением их массы, однако необходимо отметить и изменение их геометрических размеров [5, 8]. Наибольшее снижение плотности образцов наблюдается при пиковой температуре термической обработки 220 °С и достигает максимальных значений у древесины липы, дуба и осины по сравнению с эталонными на 7,3; 9,2 и 10,6 % соответственно. В целом изменение таких параметров, как масса и плотность образцов исследуемых пород, соответствует полученным ранее результатам отечественных и зарубежных исследователей [2, 5, 7, 8, 11, 12].

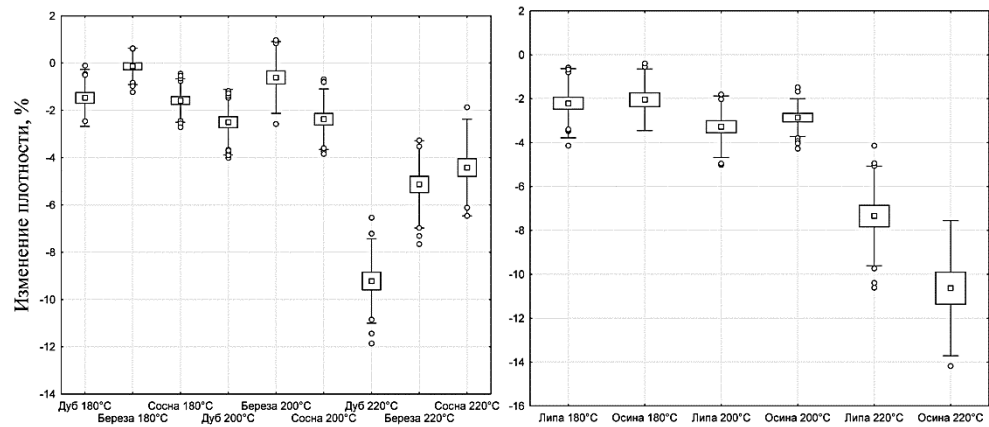


Рис. 3. Изменение плотности образцов после термической обработки (см. обозначения на рис. 2)

Одним из важнейших параметров, влияющих на механические свойства древесины, является ее влажность. Экспериментальные замеры стандартной влажности позволили подтвердить данные о ее снижении при обработке древесины в условиях высоких температур [7, 8, 12]. Наименьшая равновесная влажность (5,2 %) наблюдалась у образцов из липы и дуба.

Статический модуль упругости для всех исследуемых пород имеет схожую динамику изменения и в зависимости от пиковой температуры процесса повышается в среднем на 10...20 % от эталонных, немодифицированных образцов. Как видно на рис. 4, вариация параметра для всех групп образцов практически не зависит от породы и режимов обработки. Изменения модуля упругости соответствуют ранее опубликованным данным [2, 5, 8, 14].

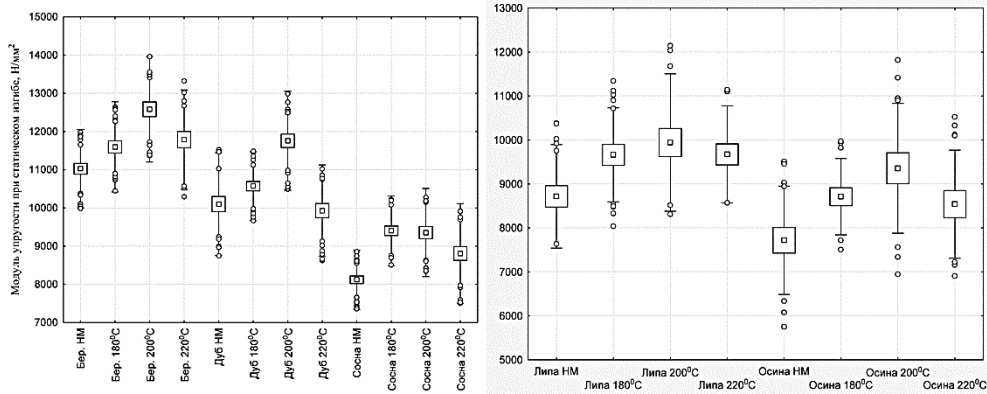


Рис. 4. Модуль упругости при статическом изгибе (□ – среднее значение выборки, □ – стандартная ошибка, I – стандартное отклонение, о – выбросы, НМ – немодифицированные образцы)

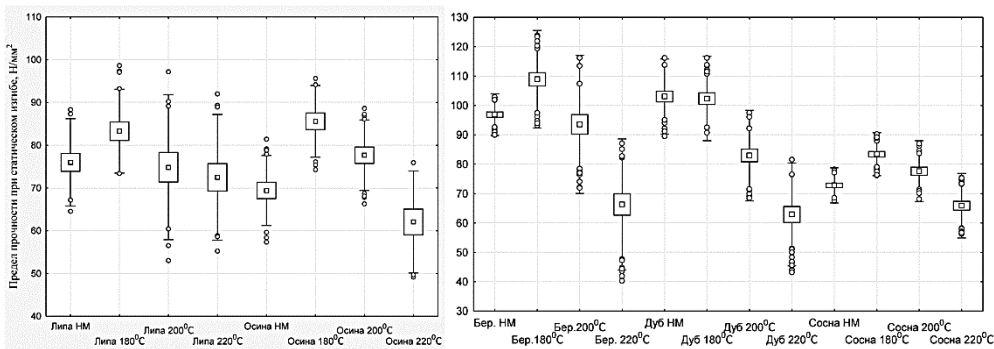


Рис. 5. Предел прочности при статическом изгибе (см. обозначения на рис. 4)

Результаты по определению предела прочности при изгибе представлены на рис. 5. Закономерность влияния температуры и продолжительности обработки частично отражают данные по модулю упругости с незначительным повышением параметра при 180 °С и последующим снижением для остальных значений пиковых температур. В частности, для древесины березы первоначальным увеличением являлось 12,5 % с последующим снижением прочности в среднем на 3,5 и максимально на 31,5 %. Древесина дуба показала максимальное снижение предела прочности, что составило для искомых температур обработки 0,7; 19,5 и 38,9 % от эталонных образцов. Незначительное снижение установлено для древесины сосны, при повышении температуры предел прочности в среднем возрастал на 14,5 и 9,5 % при 180 и 200 °С с последующим снижением на 9,5 %. У образцов из осины отмечено повышение предела прочности на 23,0 и 11,5 % при 180 и 200 °С с последующим снижением

на 11,5 %. Наименьшее снижение предела прочности при статическом изгибе определено у древесины липы, при 220 °С данный параметр уменьшился лишь на 4,6 %. Максимальные стандартные отклонения предела прочности также характерны для температуры 220 °С. Снижение предела прочности образцов, безусловно, связано с изменениями, происходящими в древесине на молекулярном уровне, при этом на изменение предела прочности при изгибе влияет модуль упругости, а также равновесная влажность, оказывающая негативное влияние на прочностные характеристики при изгибе немодифицированных образцов, что соответствует результатам [11].

#### *Заключение*

Потеря массы является одним из ключевых параметров, характеризующих процесс термической обработки древесины и отражающих пиковую температуру и длительность процесса обработки. Потеря массы характерна для всех пород, при этом наибольшее изменение параметра отмечено для древесины дуба, липы и осины, в среднем соответственно на 17,8, 13,4 и 16,5 % при максимальной температуре 220 °С. Плотность термически модифицированной древесины снижается при повышении температуры обработки и достигает минимальных значений у дуба и осины.

Модуль упругости при статическом изгибе повышается в среднем на 10...20 % для различных пород при пиковых температурах обработки 180 и 200 °С и снижается при последующем повышении температуры до 220 °С.

Предел прочности при статическом изгибе повышается у образцов березы в среднем на 12,5 %, сосны – 14,5 %, липы – 9,2 %, обработанных при 180 °С. С повышением пиковой температуры обработки до 200 °С максимальное снижение предела прочности отмечено у образцов дуба, в среднем на 19,5 %. Для образцов березы и липы снижение было незначительным и составило в среднем 3,5 и 0,5 % от немодифицированных образцов. У образцов осины отмечено повышение предела прочности на 23,0 и 11,5 % при 180 и 200 °С с последующим снижением параметра на 11,5 % при повышении температуры до 220 °С. Максимальное снижение предела прочности при статическом изгибе зафиксировано для всех пород при температуре термической обработки 220 °С, что по сравнению с немодифицированными образцами для березы составило 31,5 %, дуба – 38,9 %, сосны – 9,5 %, липы – 4,6 %.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Владимирова Е.Г.* Технология производства заготовок из термически модифицированной древесины: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2012. 22 с.
2. *Шаранов Е.С., Karl-Christian Mahnert, Королев А.С.* Экспериментальные исследования физико-механических свойств термически модифицированной древесины сосны // Вестн. МГУЛ – Лесн. вестн. 2013. № 2. С. 90–96.
3. *Arnold M.* Effect of moisture on the bending properties of thermally modified beech and spruce // Journal of Material Science. 2010. N 45. P. 669–680.



4. Ates S., Akyildiz M.H., Özdemir H. Effects of heat treatment on Calabrian pine (*Pinus brutia* Ten.) wood // BioResources. 2009. N 4(3). P. 1032–1043.
5. Bengtsson C., Jermer J., Brem F. Bending strength of heat-treated spruce and pine timber // 33rd annual meeting of the international research group on wood protection. Cardiff, Wales. 2002. Document IRG/WP 02-40242. 9 p.
6. Boonstra M.J. A two-stage thermal modification of wood : Ph.D. dissertation in co-supervision Ghent University and Université Henry Poincaré. Nancy, France, 2008. 297 p.
8. Gunduz G., Aydemir D., Karakas G. The effects of thermal treatment on the mechanical properties of wild Pear (*Pyrus elaeagnifolia* Pall.) wood and changes in physical properties // Materials and Design. 2009. N 30. P. 4391–4395.
7. Esteves B., Marques A.V., Domingos I., Pereira H. Influence of steam heating on the properties of pine (*Pinus pinaster*) and eucalypt (*Eucalyptus globulus*) wood // Wood Science and Technology. 2007. N 3(41). P. 193–207.
9. Hill C.A.S. Wood modification – chemical, thermal and other processes. Chichester, UK: John Wiley and Sons, 2006.
10. Kacikova D., Kacik F., Cabalova I., Durkovic J. Effects of thermal treatment on chemical, mechanical and colour traits in Norway spruce wood // Bioresource Technology. 2013. N 144. P. 669–674.
11. Kamperidou V., Barboutis I., Vasileiou V. Influence of thermal treatment on mechanical strength of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) wood // Wood research. 2014. N 59(2). P. 373–378.
12. Kubojima Y., Okano T. & Ohta M. Bending strength and toughness of heat-treated wood // Journal of Wood Science. 2000. N 46. P. 8–15.
13. Militz H. and Altgen M. Processes and properties of thermally modified wood manufactured in Europe // Deterioration and protection of sustainable biomaterials, In: T.P. Schultz, B. Goodell and D.D. Nicholas. chapter 16. 2014. P. 269–285.
14. ThermoWood 2003: ThermoWood® Handbook Finnish ThermoWood Association. Helsinki, Finland. URL: <http://www.thermowood.fi>.

Поступила 11.05.15

UDC [674.049.2+674.046.7]

### **Effect of Thermal Modification of Wood on Strength and Elasticity Modulus in Static Bending**

*E.S. Sharapov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor*

*A.S. Toropov, Doctor of Engineering Sciences, Professor*

*A.S. Korolev, Postgraduate Student*

Volga State University of Technology, Lenin sq., 3, Yoshkar-Ola, Republic of Mari El, 424000, Russian Federation; e-mail: sharapoves@volgatech.net

The paper presents the experimental results of physical and mechanical properties of thermally modified timber of pine (*Pinus sylvestris*), birch (*Bétula Péndula*), oak (*Quercus Róbur*), aspen (*Tilia europaea*) and lime (*Pópulus trémula*). Wood samples' heating was carried out in a saturated steam medium in a steam convection section and atmospheric pressure at maximum temperatures of 180 °C, 200 °C and 220 °C and the duration of treatment at a peak value of 3 hours. The values of mass loss and the change in density when dry, specified moisture content, elasticity modulus and tensile strength at static bending were defined. The increase in mass loss was significant for all wood species. Maximum mass loss

was determined for oak, lime and aspen wood specimens at average values of 17.8 %, 13.4 % and 16.5 % respectively, at a maximum temperature of 220 °C. The density of thermally modified wood was reduced with increasing treatment temperature and reached the minimum values for wood of oak and aspen. Elasticity modulus at static bending increased for different species on average of 10...20 % for peak processing temperatures of 180 °C and 200 °C and subsequently reduced by increasing the temperature up to 220 °C. The ultimate strength at static bending is increased for birch samples, treated at 180 °C, on average of 12.5 %, pine – 14.5 % and lime – 9.2 %. With the rise of peak processing temperature up to 200 °C the maximum reduction of ultimate strength of wood was observed in oak samples (on average 19.5 %). For birch and lime samples the decrease was insignificant – 3.5 % and 0.5 % in comparison with the unmodified samples. The rise of ultimate strength was observed for aspen samples of 23 % and 11.5 % for the 180 °C and 200 °C. The maximum decrease of the ultimate strength at static bending was marked for all species in the heat treatment temperature of 220 °C, that was compared to unmodified samples for birch – 31.5 %, oak – 38.9 %, pine – 9.5 %, lime – 4.6 % and 11.5 % of aspen.

*Keywords:* thermally modified timber, mass loss, density, elasticity modulus at static bending, static modulus.

#### REFERENCES

1. Vladimirova E.G. *Tekhnologiya proizvodstva zagotovok iz termicheski modifitsirovannoy drevesiny*: avtoref. dis... kand. tekn. nauk [Technology of Production of Hewn Blanks of Thermally Modified Wood: Cand. Eng. Sci. Diss. Abs.], Moscow, 2012. 22 p.
2. Sharapov E.S., Karl-Christian Mahnert, Korolev A.S. Eksperimental'nye issledovaniya fiziko-mekhanicheskikh svoystv termicheski modifitsirovannoy drevesiny sosny [Experimental Research of Physical and Mechanical Properties of Pine Wood]. *Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoy vestnik*, 2013, no. 2, pp. 90–96.
3. Arnold M. Effect of Moisture on the Bending Properties of Thermally Modified Beech and Spruce. *Journal of Material Science*, 2010, no. 45, pp. 669–680.
4. Bengtsson C., Jermer J., Brem F. Bending Strength of Heat-Treated Spruce and Pine Timber. *33rd annual meeting of the international research group on wood protection*. Cardiff, Wales, 2002. 9 p.
5. Boonstra M.J. *A Two-Stage Thermal Modification of Wood*: Ph.D. Diss. Nancy, France, 2008. 297 p.
6. Gunduz G., Aydemir D., Karakas G. The Effects of Thermal Treatment on the Mechanical Properties of Wild Pear (*Pyrus elaeagnifolia* Pall.) Wood and Changes in Physical Properties. *Materials and Design*, 2009, no. 30, pp. 4391–4395.
7. Esteves B., Marques A.V., Domingos I., Pereira H. Influence of Steam Heating on the Properties of Pine (*Pinus pinaster*) and Eucalypt (*Eucalyptus globulus*) Wood. *Wood Science and Technology*, 2007, no. 3 (41), pp. 193–207.
8. Hill C.A.S. *Wood Modification - Chemical, Thermal and Other Processes*. Chichester, UK, 2006.
9. Kacikova D., Kacik F., Cabalova I., Durkovic J. Effects of Thermal Treatment on Chemical, Mechanical and Colour Traits in Norway Spruce Wood. *Bioresource Technology*, 2013, no. 144, pp. 669–674.

10. Kamperidou V., Barboutis I., Vasileiou V. Influence of Thermal Treatment on Mechanical Strength of Scots Pine (*Pinus sylvestris L.*) Wood. *Wood research*, 2014, no. 59 (2), pp. 373–378.

11. Kubojima Y., Okano T. & Ohta M. Bending Strength and Toughness of Heat-Treated Wood. *Journal of Wood Science*, 2000, no. 46, pp. 8–15.

12. Militz H., Altgen M. Processes and Properties of Thermally Modified Wood Manufactured in Europe. *Deterioration and Protection of Sustainable Biomaterial, chapter 16*. Ed. by T.P. Schultz, B. Goodell, D.D. Nicholas. Washington, 2014, pp. 269–285.

13. Ates S., Akyildiz M.H., Özdemir H. Effects of Heat Treatment on Calabrian Pine (*Pinus brutia Ten.*) Wood. *BioResources*, 2009, no. 4 (3), pp. 1032–1043.

14. *ThermoWood 2003: ThermoWood® Handbook*. Finnish ThermoWood Association. Helsinki, Finland. Available at: <http://www.thermowood.fi>.

Received on May 11, 2015

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2015.6.85

---

УДК 674.023

## **ИССЛЕДОВАНИЕ УРОВНЯ ВИБРАЦИЙ И КАЧЕСТВА ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОМ ФРЕЗЕРОВАНИИ ДРЕВЕСИНЫ**

© С.А. Черепанов, асп.

Д.А. Лужанский, асп.

Г.Ф. Прокофьев, д-р техн. наук

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,  
наб. Северной Двины, 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: serg-edu@yandex.ru;  
agov-dm@mail.ru;

Качество обработанной поверхности при фрезеровании древесины определяется целым рядом факторов: режимы резания, конструктивно-геометрические характеристики инструмента, свойства обрабатываемой древесины. Известно, что с повышением скорости резания до определенного предела происходит повышение качества поверхности древесины. Однако при обработке концевыми фрезами для достижения высоких скоростей резания требуется увеличивать частоту вращения шпинделя до 10 тыс. об/мин и более, что влечет за собой существенный рост уровня вибраций. В статье рассматриваются результаты экспериментального исследования зависимости уровня вибраций инструмента и шероховатости поверхности от режимов резания, числа зубьев фрезы, породы древесины и направления подачи относительно волокон. Эксперименты проводили на современном обрабатывающем центре с числовым программным управлением по плану дробного факторного эксперимента типа  $2^{5-1}$  для двух пород древесины (сосна, дуб). В качестве измерительной аппаратуры использовали пьезоэлектрический датчик, закрепленный на заготовке. Датчик подключали через предусилитель к анализатору. В процессе резания записывали сигналы с датчика. После обработки записи получены спектры колебаний и общий уровень виброускорения. Для измерения шероховатости использовали профилометр. Проведено измерение собственных резонансных частот инструмента. На основании экспериментальных данных получены уравнения регрессии, анализ которых показал, что с увеличением частоты вращения шпинделя и глубины резания уровень вибраций возрастает для обеих пород древесины, однако при обработке дуба уровень вибраций снижается с увеличением числа зубьев фрезы. Шероховатость поверхности при обработке дуба ухудшается с увеличением числа зубьев фрезы и подачи на зуб и улучшается при переходе от подачи вдоль волокон к подаче поперек волокон. Анализ спектров колебаний показал, что в спектрах доминируют гармоники частоты вращения шпинделя и частоты врезания зубьев.

*Ключевые слова:* фрезерование древесины, вибрации, шероховатость поверхности, резонансная частота, спектр колебаний, концевая фреза.

Качество обработанной поверхности, являющееся одной из важнейших характеристик процесса фрезерования, определяется целым рядом факторов, среди которых основное место занимают режимы резания и конструктивно-геометрические характеристики инструмента. Известно, что с повышением

скорости резания качество поверхности древесины улучшается [3]. Вместе с тем, для достижения высоких скоростей резания при обработке концевыми фрезами требуется повышение частоты вращения шпинделя до 10...20 тыс. об/мин и более. При столь высоких частотах вращения резко увеличивается уровень вибраций, вызванных, в частности, дисбалансом инструмента. В работе [2] указывается на наличие взаимосвязи между уровнем вибрации и качеством обработанной поверхности. Таким образом, при исследовании процесса высокоскоростного фрезерования, помимо шероховатости поверхности необходимо исследовать и зависимость уровня вибрации инструмента от различных факторов.

Рассмотрим основные факторы, оказывающие влияние на качество обработанной поверхности и уровень вибрации инструмента при фрезеровании. Их условно можно разделить на несколько подгрупп: режимы резания, порода и направление волокон древесины, конструктивно-геометрические характеристики инструмента.

Среди режимов резания при высокоскоростном фрезеровании наибольший интерес представляет скорость резания, зависящая от частоты вращения шпинделя. С одной стороны, повышение скорости резания должно улучшать качество поверхности, с другой – увеличивать уровень вибраций. Так, центробежная сила, вызванная дисбалансом инструмента, увеличивается пропорционально квадрату частоты вращения шпинделя. На динамические характеристики процесса фрезерования большое влияние также оказывают глубина резания и подача на зуб, поскольку эти параметры определяют размеры срезаемого слоя материала и, соответственно, силу резания. Помимо этого, подача на зуб определяет высоту кинематических неровностей.

Древесина является анизотропным материалом, поэтому большой интерес представляет влияние направления волокон относительно направления подачи. При этом в процессе фрезерования всегда имеют место различные переходные виды резания – продольно-поперечное, продольно-торцовое и т. д. Порода древесины оказывает существенное влияние на уровень вибрации инструмента [4]. В связи с разнообразием пород древесины и их свойств было принято решение провести эксперимент на двух породах. В качестве типичной мягкой породы выбрана сосна, в качестве твердой – дуб. Влажность заготовок из древесины составила 6...8 %.

Конструктивные параметры инструмента также оказывают значительное влияние на динамику процесса фрезерования. Наибольшее распространение среди концевых фрез получили двузубые фрезы. Однако представляет интерес исследование возможностей фрез с большим количеством зубьев. Так, в работе [1] были показаны преимущества многозубых цилиндрических фрез перед фрезами традиционной конструкции. Поэтому были спроектированы и изготовлены экспериментальные фрезы из стали 9ХС с числом зубьев 2, 4, 6. Исходя из возможностей технологического оборудования, выбрано:

диаметр фрез – 30 мм, диаметр хвостовика – 12 мм. Геометрические параметры соответствовали используемым в деревообработке: передний угол  $\gamma = 30^\circ$ , задний угол  $\alpha = 10^\circ$ . Экспериментальные фрезы представлены на рис. 1.

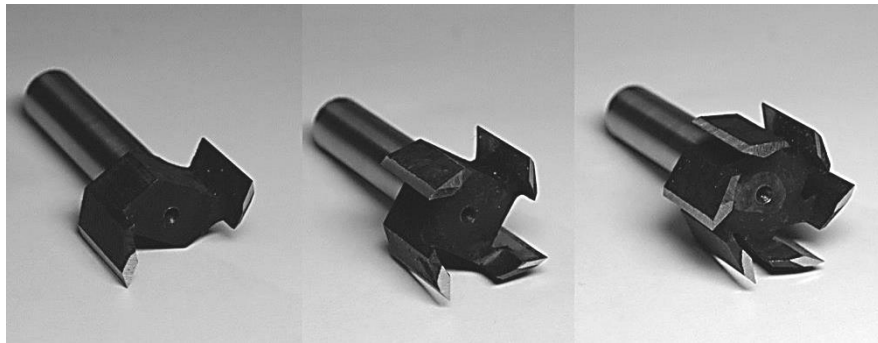


Рис. 1. Экспериментальные фрезы

Ввиду того, что другие конструктивные параметры фрез (угол наклона лезвия, переменный шаг зубьев, наличие стружкоделительных канавок) оказывают меньшее влияние на процесс резания [4], а также для снижения трудоемкости экспериментов, изучение их влияния на процесс высокоскоростного фрезерования древесины не проводилось.

В целях построения интерполяционных математических моделей и сокращения числа опытов был разработан план многофакторного эксперимента [5]. В качестве плана выбран дробный факторный эксперимент типа  $2^{5-1}$ , поскольку использование плана полного факторного эксперимента для пяти факторов связано с высокой трудоемкостью из-за большого числа опытов. По этой же причине опыты не дублировали, а для статистической обработки результатов дополнительно проведено по два опыта при основном уровне варьирования технологических факторов на каждой породе древесины. Для получения наибольшей разрешающей способности плана эксперимента в качестве генерирующего соотношения для фактора  $X_5$  было выбрано следующее:

$$X_5 = X_1X_2X_3X_4.$$

Уровни технологических факторов и интервалы варьирования представлены в табл. 1. В качестве выходных параметров приняты шероховатость обработанной поверхности и виброускорение.

Экспериментальные исследования проведены на обрабатывающем центре BIESSE ROVER 20 (Италия), оснащённом вакуумным столом. Мощность электрошпинделя обрабатывающего центра – 6,6 кВт, частота вращения шпинделя – 1...24 тыс. об/мин.

Таблица 1

**Уровни технологических факторов и интервалы варьирования  
при высокоскоростном фрезеровании древесины**

Уровень факторов и интервал варьирования	Код	Число зубьев фрезы $z$ ( $X_1$ )	Угол между направлением волокон и направлением подачи $\varphi$ , град ( $X_2$ )	Подача на зуб $S_z$ , мм ( $X_3$ )	Частота вращения шпинделя $n$ , об/мин ( $X_4$ )	Глубина резания $t$ , мм ( $X_5$ )
Основной	0	4	45	0,12	10 000	4
Верхний	+1	6	90	0,18	15 000	6
Нижний	-1	2	0	0,06	5 000	2
Интервал варьирования	$\Delta X_i$	2	45	0,06	5 000	2

Суть эксперимента заключалась в следующем. На вакуумный стол устанавливали заготовку, на которой крепили с помощью шурупа трехкомпонентный датчик для измерения виброускорения. Затем в заготовке производили фрезерование уступа шириной 20 мм. Схема установки датчика на заготовке приведена на рис. 2, схема измерительного тракта – на рис. 3. Для измерений использовали аппаратуру фирмы «Брюль и Кьер». Сигнал с трехкомпонентного датчика (мод. 4321) через преусилители (мод. 2647А) поступал на анализатор



Рис. 2. Схема установки датчика на заготовке

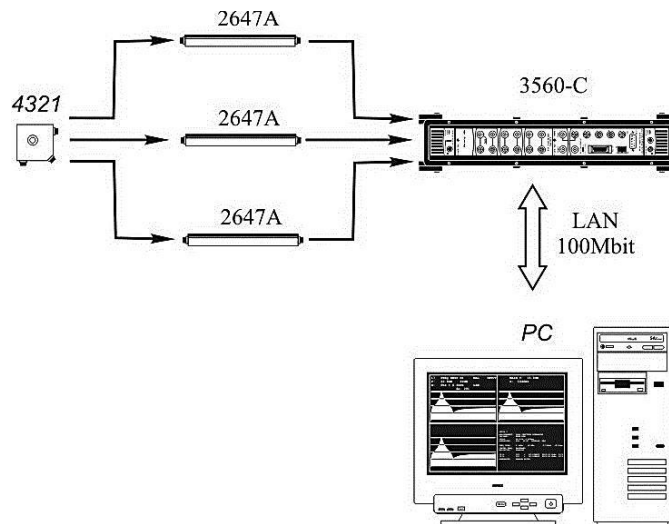


Рис. 3. Схема измерительного тракта

(мод. 3560-С) и далее записывался в память ПК. Для оценки шероховатости ( $Ra$ ) обработанной поверхности использовали профилометр Surtronic 3. В соответствии с ГОСТ 15612–85 для измерения параметра шероховатости необходимо произвести измерение на пяти равномерно расположенных участках и рассчитать среднее значение. В данной работе для повышения точности измерений количество участков для измерений было увеличено до десяти, после чего также определялось среднее значение. Базовая длина для измерения шероховатости была принята 2,5 мм.

Перед выполнением основной серии опытов было проведено исследование собственных резонансных частот фрез (рис. 4). Для этого на фрезу устанавливался датчик (мод. 8309), который через предусилитель (мод. 2647А)



Рис. 4. Схема установки датчика на фрезе



подключался к анализатору (мод. 3560-С). По фрезе наносились удары измерительным молотком (мод. 8202), который через предусилитель (мод. 2647А) подключался к анализатору. Производилась запись амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) фрез. Пример АЧХ шестизубой фрезы представлен на рис. 5. Анализ АЧХ фрез показал, что их собственная резонансная частота находится в диапазоне 801...823 Гц.

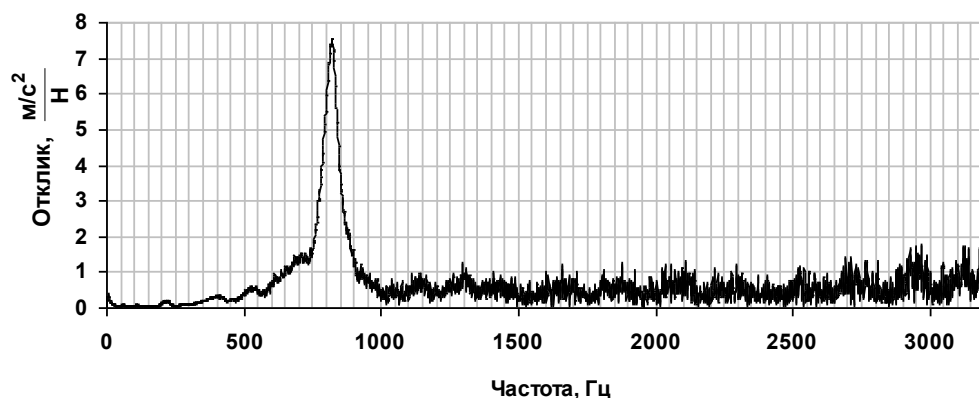


Рис. 5. АЧХ шестизубой фрезы

Результаты основной серии опытов приведены в табл. 2. Кроме того, для оценки дисперсии воспроизводимости и последующей оценки значимости коэффициентов регрессии и адекватности модели была поставлена серия дополнительных опытов. Их результаты представлены в табл. 3. Уровень виброускорения в табл. 2, 3 указан для оси X.

Таблица 2

## Результаты эксперимента

Номер точки плана	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	Порода древесины	Уровень виброускорения $D$ , $m/s^2$	Шероховатость $Ra$
1	-1	-1	-1	-1	+1	Сосна	3,636	7,62
2	+1	-1	-1	-1	-1		5,000	3,94
3	-1	+1	-1	-1	-1		2,447	5,75
4	+1	+1	-1	-1	+1		5,650	2,22
5	-1	-1	+1	-1	-1		2,649	9,86
6	+1	-1	+1	-1	+1		17,572	5,63
7	-1	+1	+1	-1	+1		4,436	3,39
8	+1	+1	+1	-1	-1		3,469	4,19
9	-1	-1	-1	+1	-1		3,758	6,00
10	+1	-1	-1	+1	+1		7,838	3,92
11	-1	+1	-1	+1	+1		14,967	6,48
12	+1	+1	-1	+1	-1		18,353	5,69
13	-1	-1	+1	+1	+1		13,425	9,18
14	+1	-1	+1	+1	-1		3,224	8,51
15	-1	+1	+1	+1	-1		5,777	4,05
16	+1	+1	+1	+1	+1		4,387	8,23

Окончание табл. 2

Номер точки плана	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	Порода древесины	Уровень виброускорения D, м/с <sup>2</sup>	Шероховатость Ra
17	-1	-1	-1	-1	+1	Дуб	5,210	14,69
18	+1	-1	-1	-1	-1		3,964	15,23
19	-1	+1	-1	-1	-1		4,950	5,87
20	+1	+1	-1	-1	+1		5,273	6,20
21	-1	-1	+1	-1	-1		5,699	14,69
22	+1	-1	+1	-1	+1		6,479	10,78
23	-1	+1	+1	-1	+1		8,346	8,40
24	+1	+1	+1	-1	-1		4,354	9,76
25	-1	-1	-1	+1	-1		10,103	5,30
26	+1	-1	-1	+1	+1		3,258	11,14
27	-1	+1	-1	+1	+1		19,305	6,75
28	+1	+1	-1	+1	-1		3,843	7,76
29	-1	-1	+1	+1	+1		16,831	7,96
30	+1	-1	+1	+1	-1		3,820	24,14
31	-1	+1	+1	+1	-1		12,687	8,40
32	+1	+1	+1	+1	+1		5,216	9,87

Таблица 3

Результаты дополнительных опытов

X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	Порода древесины	Уровень виброускорения D, м/с <sup>2</sup>			Шероховатость Ra		
						Опыт 1	Опыт 2	Среднее значение	Опыт 1	Опыт 2	Среднее значение
0	0	0	0	0	Сосна	8,19	7,54	7,86	7,99	6,03	7,01
0	0	0	0	0	Дуб	7,32	6,92	7,12	10,51	11,08	10,79

Анализ спектров колебаний показал, что спектры колебаний по осям X, Y, Z в целом повторяют друг друга. В них преобладают гармоники частоты вращения шпинделя и частоты врезания зубьев. Следует отметить, что на многих режимах наибольшая амплитуда колебаний наблюдается на частоте 500 Гц. Причем наибольшие значения виброускорения в серии опытов отмечены в случаях, когда частота врезания зубьев совпадала с этой частотой. Наиболее вероятно, что эта частота является одной из собственных резонансных частот шпиндельного узла. Пример спектров колебаний приведен на рис. 6.

По результатам обработки данных табл. 2, 3 и в соответствии с методикой, изложенной в [5], получены уравнения регрессии:

для фрезерования сосны

$$D = 7,29 + 0,94X_1 + 0,16X_2 - 0,37X_3 + 1,69X_4 + 1,7X_5;$$

$$Ra = 5,91 - 0,63X_1 - 0,92X_2 + 0,71X_3 + 0,59X_4 - 0,08X_5;$$

для фрезерования дуба

$$D = 7,43 - 2,9X_1 + 0,57X_2 + 0,44X_3 + 1,9X_4 + 1,25X_5;$$

$$Ra = 10,43 + 1,43X_1 - 2,56X_2 + 1,32X_3 - 0,27X_4 - 0,96X_5.$$

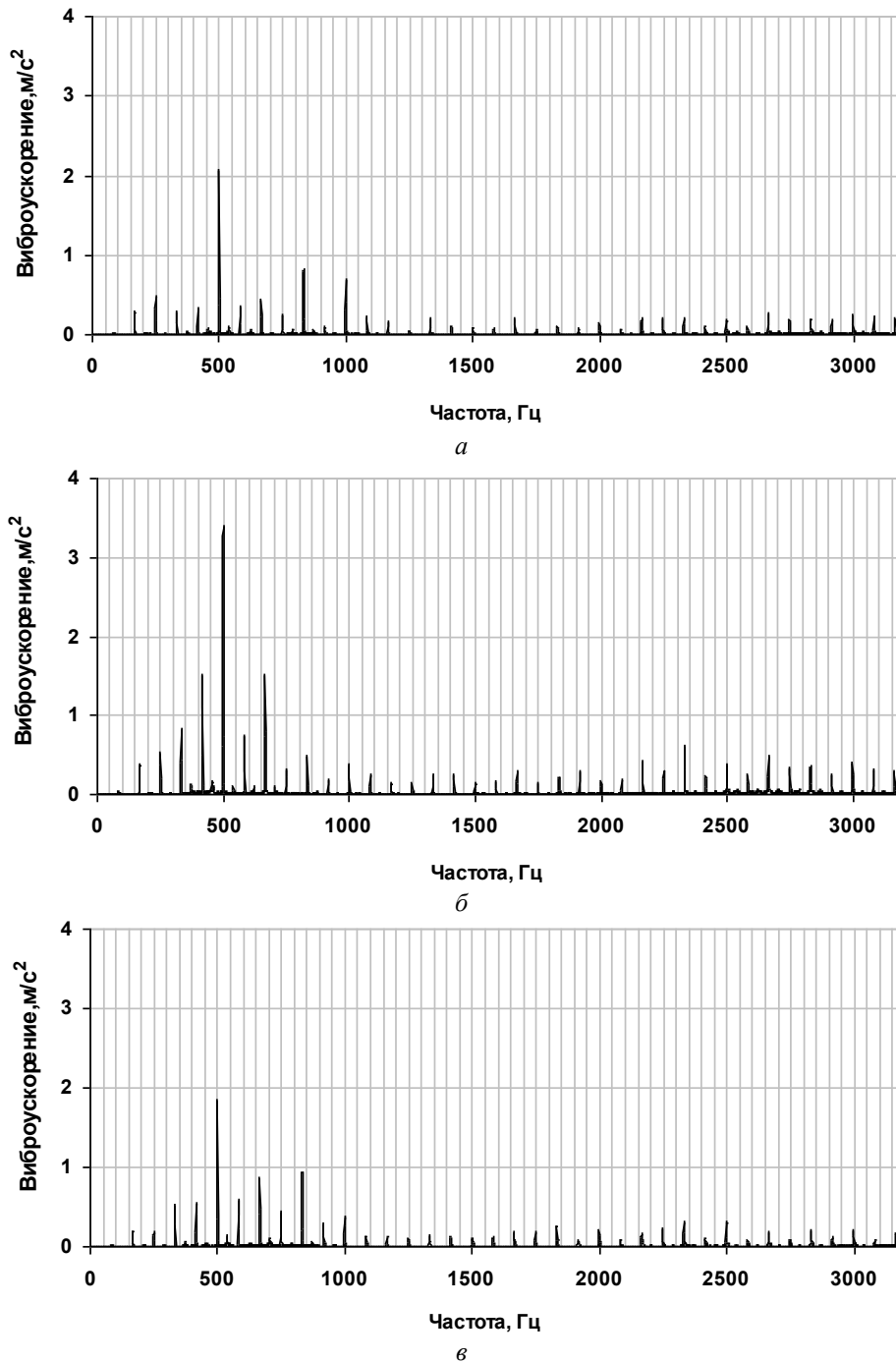


Рис. 6. Спектры колебаний по осям  $X$  (а),  $Y$  (б),  $Z$  (в) ( $n = 5000$  об/мин;  $z = 2$ ;  $S_z = 0,06$  мм/об;  $t = 6$  мм; подача вдоль волокон; материал – дуб)

Значимость коэффициентов регрессии проверена по критерию Стьюдента. Незначимые факторы выделены подчеркиванием. Как видно, для уравнения шероховатости при фрезеровании сосны все факторы являются незначимыми, т. е. находятся в пределах погрешности опытов. Проверка адекватности моделей проводилась по критерию Фишера и показала их адекватность.

Отбросив незначимые факторы и перейдя от нормализованных к натуральным значениям факторов, получим следующие уравнения:

для фрезерования сосны

$$D = 0,51 + 0,00034n + 0,85t;$$

для фрезерования дуба

$$D = 6,93 - 1,45z + 0,00038n + 0,625t;$$

$$Ra = 7,49 + 0,715z - 0,056\phi + 22S_z.$$

#### *Выводы*

1. Анализ уравнений регрессии показал следующее:  
при фрезеровании сосны и дуба уровень вибраций возрастает с увеличением частоты вращения шпинделя и глубины резания;  
при фрезеровании дуба уровень вибрации снижается с увеличением числа зубьев фрезы; по-видимому, это связано с тем, что в резании участвуют одновременно несколько зубьев;  
при фрезеровании дуба шероховатость поверхности ухудшается с увеличением числа зубьев фрезы и подачи на зуб и улучшается при переходе от подачи вдоль волокон к подаче поперек волокон.
2. Анализ спектров колебаний показал, что в спектрах доминируют гармоники частоты вращения шпинделя и частоты врезания зубьев.
3. Как следует из результатов проведенных экспериментов один и тот же технологический фактор может по-разному влиять на уровень вибрации и качество обработанной поверхности. Так, при фрезеровании дуба с увеличением числа зубьев фрезы уровень вибраций снижается, а шероховатость поверхности возрастает. Таким образом, можно говорить, что само по себе снижение уровня вибрации инструмента при высокоскоростном фрезеровании древесины не является достаточным условием для улучшения качества обработки. При назначении режимов обработки и выборе инструмента необходимо исходить из поставленных задач и комплексно рассматривать влияние различных факторов.
4. На основании полученных результатов можно дать следующие рекомендации. При необходимости получить высокое качество поверхности следует производить обработку двузубой фрезой с высокими частотами вращения и малой подачей на зуб. Для высокопроизводительной обработки при некотором ухудшении качества обработанной поверхности перспективно использование шестизубых фрез с высокими частотами вращения и подачей на зуб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волков И.М. Совершенствование многоножевых фрез и режимов их эксплуатации: дис. ... канд. техн. наук. М., 1984. 168 с.
2. Воробьев А.А. Улучшение качества фрезерованных деталей мебели на основе снижения вибрации технологического оборудования: дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2010. 186 с.
3. Глебов И.Т. Резание древесины: учеб. пособие. Екатеринбург: УГЛТУ, 2007. 228 с.
4. Кремлева Л.В. Повышение эффективности процесса механической обработки сложнопровильных поверхностей литейных моделей из древесно-композитных материалов: дис. ... д-ра техн. наук. Северодвинск, 2010. 299 с.
5. Пижурин А.А., Пижурин А.А. Основы научных исследований в деревообработке: учеб. для вузов. М.: МГУЛ, 2005. 305 с.

Поступила 18.03.15

UDC 674.023

**Research of the Vibration Level and Surface Quality at High-Speed Moulding**

*S.A. Cherepanov, Postgraduate Student*

*D.A. Luzhanskiy, Postgraduate Student*

*G.F. Prokof'ev, Doctor of Engineering Sciences*

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: serg-edu@yandex.ru; arov-dm@mail.ru

Surface quality at moulding is determined by a number of factors: cutting conditions, constructive and geometrical adjectives of a tool, processed wood property. It is known that with an increase of cutting speed up to a certain limit there is an increase of surface quality. However, to achieve high-speed cutting it is required to increase spindle speed up to more than 10000 rpm at the end mill processing that entails a significant increase in the vibration level. The article deals with the experimental investigation of the dependence of vibration level of a tool and surface roughness on the cutting conditions, the number of cutter teeth, timber species and feed direction with respect to the fibers. The study was conducted in the modern work center with CNC and according to the plan of fractional factorial experiment of the  $2^{5-1}$  type for two timber species of pine and oak. The piezoelectric sensor fixed on a workpiece was used as measuring equipment. The sensor was connected through a preamplifier to the analyzer. A sensor signal was taped during the cutting process. The records demonstrated the spectrum of oscillations and the total level of vibration acceleration. The profilometer was used to measure the roughness. A resonant frequencies measurement of the tool was performed. On the basis of the experimental data the regression equations were obtained. The analysis of the equations of regression showed that with increase of spindle speed and the cutting depth the vibration level increased for both timber species. The vibration level at processing of oak decreased with increase in the number of cutter teeth. The surface roughness at processing of oak deteriorated with increasing the number of cutter teeth and bite per tooth and improved in the transition from along-the-grain feeding to the

cross-grain feeding. The analysis of vibrational spectra showed that the spectrum was dominated by harmonics of spindle rotation frequency and frequency of teeth incision.

*Keywords:* moulding, vibration, surface roughness, resonant frequency, vibrational spectra, end mill.

#### REFERENCES

1. Volkov I.M. *Sovershenstvovanie mnogozhevykh frez i rezhimov ikh ekspluatatsii*: dis... kand. tehn. nauk [Improvement of Multiknife Mills and Modes of Their Operation: Cand. Eng. Sci. Diss.]. Moscow, 1984. 168 p.
2. Vorob'ev A.A. *Uluchshenie kachestva frezerovannykh detaley mebeli na osnove snizheniya vibratsii tekhnologicheskogo oborudovaniya*: dis... kand. tehn. nauk [Improvement of Quality of the Milled Furniture Details on the Basis of Vibration Decrease of Processing Equipment: Cand. Eng. Sci. Diss.]. Krasnoyarsk, 2010. 186 p.
3. Glebov I.T. *Rezanie drevesiny* [Wood Cutting. Manual]. Yekaterinburg, 2007. 228 p.
4. Kremleva L.V. *Povyshenie effektivnosti protsessa mekhanicheskoy obrabotki slozhnoprofil'nykh poverkhnostey liteynykh modeley iz drevesno-kompozitnykh materialov*: dis... dok. tehn. nauk [Improving the Efficiency of the Process of Mechanical Operation of Figurine Surfaces of Casting Patterns from Wood and Composite Materials: Doc. Eng. Sci. Diss.]. Severodvinsk, 2010. 299 p.
5. Pizhurin A.A., Pizhurin A.A. *Osnovy nauchnykh issledovaniy v derevoobrabotke* [Basic Research in a Woodworking]. Moscow, 2005. 305 p.

Received on March 18, 2015

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2015.6.96

---

УДК 674.053:621.93

## КОМПЕНСАЦИЯ МЕТОДИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ ПРИ ИК-КОНТРОЛЕ НАГРЕВА КРУГЛЫХ ПИЛ

© *М.А. Хвиузов, ст. преп.*

*А.Н. Галашев, доц.*

*И.И. Соловьев, доц.*

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: mik5512@yandex.ru; galashev@list

В качестве параметра контроля и прогнозирования работоспособности круглопильного оборудования предлагается использовать температуру нагрева дереворежущих круглых пил. В реальных условиях процесса лесопиления температуру режущего инструмента указанного типа станков можно измерять методом инфракрасного теплового контроля. Основной проблемой этого метода является высокая вероятность появления методической погрешности измерения, величина которой при определенных условиях делает его непригодным. Поэтому целью проведенного исследования являлось установление способа компенсации методической погрешности, снижающего разницу между инструментальной и фактической температурами до минимальных значений. Методическая погрешность при дистанционном измерении температуры радиационными пирометрами определяется точностью учета коэффициента теплового излучения объекта. Значение коэффициента теплового излучения зависит от многочисленных факторов, основные из которых – материал и температура объекта, а также температура окружающего пространства. При выполнении теоретических изысканий было установлено, что в справочных и методических источниках отсутствуют достоверные сведения о величине и характере изменения коэффициента излучения инструментальных низколегированных сталей, применяемых для корпусов пил. Поэтому было принято решение о проведении эксперимента с использованием метода тепловой стимуляции. В результате эксперимента было установлено, что коэффициент теплового излучения корпусов круглых пил снижается при увеличении температуры нагрева от +30 до +100 °С и повышается при увеличении температуры рабочего пространства пил от +10 до +20 °С. Коэффициент теплового излучения для указанных температурных диапазонов при измерении пирометрами частичного излучения в спектре 8...14 мкм изменяется от 0,20 до 0,34. В ходе регрессионного анализа результатов эксперимента были установлены аналитические зависимости коэффициента теплового излучения от температуры нагрева и воздушной среды в зоне инфракрасного контроля для круглых пил, изготовленных из инструментальных сталей марок 9ХФ и 80CrV2. Применение регрессионных уравнений позволяет компенсировать методическую погрешность при радиационном температурном контроле на уровне, не превышающем 5 %. Они могут быть использованы при настройке пирометров частичного излучения для производства измерений.

*Ключевые слова:* температурный перепад, инфракрасный пирометр, коэффициент теплового излучения, нагрев, дисковая пила.

Величина и характер нагрева пильного диска при пилении древесины оказывают существенное влияние на его работоспособность и эффективность всего процесса пиления. Основной температурной характеристикой является температурный перепад между периферийной и центральной зонами пилы  $\Delta T$ , при условии достижения и превышения допустимого значения которого происходит потеря динамической устойчивости и нарушение плоской формы пилы [6].

Метод дистанционного термометрического контроля позволяет использовать в качестве контролируемого параметра процесса пиления температуру нагрева пильного диска [10]. Большая часть средств измерений данного метода (около 70 %) основана на определении фактической температуры по тепловому излучению удаленных и движущихся тел. Эти средства объединены под общим названием – радиационные (инфракрасные) пирометры [4].

Принцип работы инфракрасного пирометра заключается в концентрации и трансформации теплового излучения в инфракрасном детекторе (сенсоре) в электрическое напряжение, которое затем через усилитель передается в микропроцессор. Связь между радиационной температурой  $T_p$  и действительной температурой объекта измерения  $T$  установлена закономерностью Стефана–Больцмана [3, 11]:

$$T = T_p \sqrt[4]{1/\varepsilon_T}, \quad (1)$$

где  $\varepsilon_T$  – полный коэффициент теплового излучения (интегральная степень черноты).

Далее следует расчет по программе математической обработки сигнала, заложенной производителем пирометра с использованием фиксированных или переменных значений коэффициента теплового излучения (КТИ) и тепловой «засветки» окружающей среды. После этого выдается результат измерения.

Не смотря на очевидные достоинства (высокое быстродействие, простота обращения и др.) использование пирометров в реальных условиях часто сопровождается значительными отклонениями показываемых температурных значений от действительных [12, 13]. Когда инструментальная погрешность, гарантированная производителем, находится в пределах  $\pm 1,5$  %, отклонения при определенных условиях термоконтроля могут достигать 50 %, что делает применение пирометра бессмысленным [8, 9].

Исследователями и практиками установлено, что причиной таких отклонений является методическая погрешность, вызываемая несоответствием установленного в пирометре значения КТИ фактическому. Для установления максимально точного значения и, соответственно, компенсации методической погрешности необходимо выполнять предварительное тестирование пирометра по излучающим свойствам контролируемого объекта [1, 5].

Проблема заключается в том, что теоретически точное определение  $\varepsilon_T$  затруднительно из-за того, что излучающие свойства зависят от материала



объекта, состояния его поверхности, температуры окружающей среды, спектрального диапазона инфракрасного излучения, наличия флуктуации самого КТИ. Аналитические зависимости взаимодействий перечисленных факторов отсутствуют.

Значение КТИ при использовании пирометра частичного излучения, откалиброванного по «модели черного тела» (МПЧ), можно определить из следующего соотношения [1]:

$$T_{\Pi} = \left[ \varepsilon T^n + (1 - \varepsilon) T_A^n \right]^{1/n}, \quad (2)$$

где  $T_{\Pi}$  – температура, показываемая пирометром, К;

$\varepsilon$  – коэффициент теплового излучения;

$T$  – фактическая температура поверхности, К;

$n$  – показатель степени в функции Планка, зависящий от спектрального диапазона пирометра (при 7...14 мкм имеем  $n = 4,83$ );

$T_A$  – температура окружающего воздуха в зоне измерения, К.

Для МПЧ показатель  $\varepsilon = 1$ , а для «серых» и «не серых» тел всегда меньше 1 [11], следовательно, можно предположить, что действительное значение КТИ корпуса круглой пилы

$$\varepsilon_{\text{д}} = 1 - \Delta\varepsilon, \quad (3)$$

где  $\Delta\varepsilon$  – разница значений КТИ измеряемого объекта и МПЧ.

Подставим (3) в (2):

$$T_{\Pi} = \left[ (1 - \Delta\varepsilon) T^n + (1 - (1 - \Delta\varepsilon)) T_A^n \right]^{1/n}; \quad (4)$$

$$\Delta\varepsilon = \frac{T_{\Pi}^n - T^n}{T_A^n - T^n}. \quad (5)$$

Если конструкция пирометра позволяет изменять КТИ, то уменьшением  $\varepsilon$  на  $\Delta\varepsilon$  устанавливается значение, равное  $\varepsilon_{\text{д}}$ .

В том случае, когда измерения выполняются пирометром с фиксированным значением КТИ, отличающимся от 1, то преобразование формулы (2) может быть выражено в виде

$$\Delta\varepsilon = \frac{T_{\Pi}^n - \varepsilon_{\Pi} (T^n - T_A^n) - T_A^n}{T_A^n - T^n}, \quad (6)$$

где  $\varepsilon_{\Pi}$  – фиксированное значение КТИ пирометра.

Для определения действительного КТИ материалов корпусов круглых пил и компенсации методической погрешности инфракрасного контроля нагрева был выбран экспериментальный метод активного температурного контроля [14], который осуществлялся следующим образом.

Круглую пилу устанавливали на вал приспособления «ПН» (ТУ 13-345–77, разработки ЦНИИМОД) [7], фиксировали зажимными фланцами. Затем производили нагрев одной стороны корпуса пилы воздушным потоком промышленного фена «Skil» марки Heat gun 8005. С другой стороны корпуса снимали температурные показания пирометром ( $T_{\text{П}}$ ) и термопарой цифрового мультиметра MAS 838, показания которого принимали за фактическую температуру ( $T$ ). Температуру воздуха ( $T_{\text{А}}$ ) между пирометром и корпусом измеряли цифровым термометром ДТ-610В. Для предотвращения возможных тепловых фоновых «шумов» пространство между плоскостями пилы и пирометра было экранировано.

Промышленный фен был принят в качестве источника тепловой стимуляции по следующим причинам. Во-первых, его конструкция позволяет регулировать тепловой поток через конусную насадку от 50 до 650 °С с шагом 10 °С. Во-вторых, паразитные шумы, возникающие при его работе, ниже, чем при индукционном или другом способе нагрева [1].

Температуру  $T_{\text{П}}$  дистанционно измеряли инфракрасными пирометрами марок «Condrol 2 IT» (С) с фиксированным  $\varepsilon_{\text{П}}$ , равным 0,95, и «ARKOM PR 480» (А) с  $\varepsilon_{\text{П}}$ , изменяемым от 0,1 до 1,0. Данные приборы относятся к пирометрам частичного излучения, работают в длинноволновом диапазоне инфракрасного излучения (8...14 мкм), имеют лазерный целеуказатель и показатель визирования 10:1, предназначены для работы в низкотемпературном диапазоне до 480...500 °С.

Необходимо отметить, что пирометры данного типа уступают по точности измерения пирометрам спектрального отношения. Последние обладают двумя приемниками и, как следствие, являются сложнее, крупнее и намного дороже [9]. Оправдывают свое применение в диапазоне высоких температур от 400 до 1500 °С.

Порядок выполнения опытов. Сначала измерения проводили пирометром (А), настроенным на КТИ, равным 1. Далее следовал расчет по формулам (5) и (3). Одновременно использовали пирометр (С) с последующим расчетом  $\Delta\varepsilon$  по формуле (6). Затем, при тех же условиях опыта, устанавливали расчетное значение  $\varepsilon$  в пирометре (А) и измеряли температура корпуса пилы для установления соответствия расчетных значений действительным.

В качестве объектов измерения применяли следующие пилы для продольной распиловки древесины: отечественная производства ГМЗ 3420-0366 (ГОСТ 9769–79) и импортная фирмы «Paritet» (400×36×50). Показания фиксировали при нагреве и охлаждении пил с учетом предварительно определенного числа дублированных опытов, равного 16. Диапазоны, интервалы варьирования входных параметров и результаты тестирования, полученные после статистической обработки, представлены в таблице.

## Значения коэффициентов теплового излучения корпусов круглых пил

Фактическая температура $T$ , °C	Показания пирометра $T_{\text{П}}$ , °C, при $T_{\text{А}}$ , °C			Коэффициент теплового излучения $\varepsilon$ при $T_{\text{А}}$ , °C		
	10	15	20	10	15	20
<i>ГМЗ 3420-0366</i>						
30	18,0	21,1	24,1	0,319	0,327	0,335
35	19,8	23,1	26,0	0,304	0,319	0,327
40	21,9	24,8	28,0	0,301	0,304	0,320
45	23,8	26,7	30,1	0,292	0,297	0,313
50	25,2	28,6	31,9	0,272	0,288	0,306
55	26,6	30,5	34,0	0,255	0,280	0,299
60	28,6	32,4	36,0	0,251	0,273	0,292
65	30,6	34,3	39,1	0,248	0,266	0,286
70	32,5	36,2	40,0	0,242	0,259	0,279
75	33,8	38,1	42,0	0,228	0,253	0,273
80	35,6	40,0	44,0	0,222	0,246	0,267
85	37,6	41,9	46,0	0,219	0,240	0,261
90	39,2	43,8	48,2	0,211	0,234	0,255
95	41,2	45,7	50,0	0,207	0,229	0,250
100	43,2	47,6	52,0	0,204	0,223	0,244
<i>«Paritet»</i>						
30	17,7	20,8	23,8	0,304	0,314	0,315
35	19,6	22,7	25,7	0,296	0,305	0,308
40	21,5	24,3	27,7	0,288	0,285	0,305
45	23,4	26,3	29,6	0,281	0,283	0,297
50	24,6	28,3	31,6	0,258	0,279	0,293
55	26,2	30,1	33,7	0,247	0,270	0,291
60	28,1	32,0	35,6	0,242	0,264	0,283
65	30,0	33,9	37,8	0,238	0,258	0,282
70	32,1	35,8	39,6	0,236	0,252	0,272
75	33,3	37,6	41,7	0,221	0,245	0,268
80	35,0	39,8	43,5	0,215	0,243	0,259
85	37,3	41,5	45,7	0,215	0,235	0,257
90	38,8	43,2	47,6	0,206	0,227	0,250
95	40,8	45,1	49,4	0,203	0,222	0,243
100	43,0	47,2	51,4	0,202	0,219	0,238

Анализ данных таблицы показывает следующее:

1. Результаты тестирования пил обеих марок отличаются незначительно, в пределах 2 %, что, очевидно, обусловлено тем, что внешний вид корпусов и химический состав инструментальных низколегированных сталей (отечественной 9ХФ и немецкой 80CrV2) [7], подобны друг другу. КТИ отечественной пилы несколько выше и более интенсивно изменяется, но предполагать, что это вызвано отличием содержания в материале отдельных химических элементов, по мнению авторов, не стоит. Скорее всего, это результат отличия внешней поверхности.

2. Отличие пирометрической температуры от фактической монотонно возрастает при увеличении температуры нагрева  $T$ , снижении температуры фона  $T_A$  от минимального (20 % в точке (20; 30)) до максимального (57 % в точке (10; 100)).

3. Коэффициенты теплового излучения в обоих случаях зависимы от изменения  $T$  и  $T_A$ , что свидетельствует о том, что материалы корпусов пил относятся к группе «не серых», т. е. для выполнения корректного инфракрасного температурного контроля это обстоятельство следует тщательно учитывать.

В результате выполнения регрессионного анализа экспериментальных данных [2] были установлены аналитические зависимости коэффициента теплового излучения от температур нагрева и воздушной среды в зоне ИК-контроля:

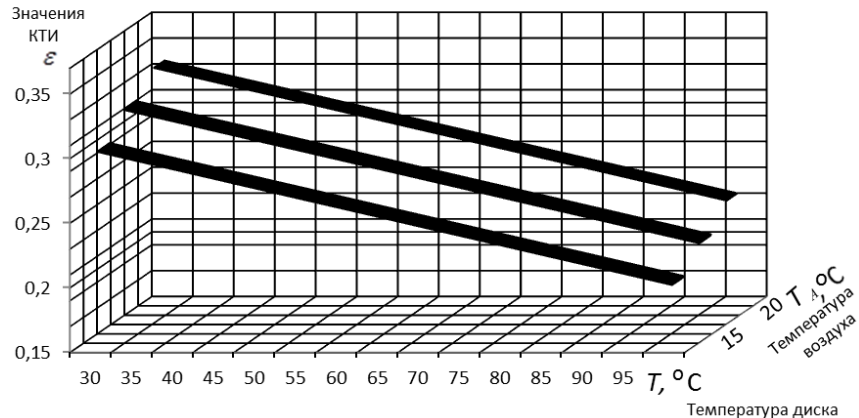
для пил ГМЗ 3420-0366

$$\varepsilon = 0,31 + 0,00356 \cdot T_A - 0,00147 \cdot T; \quad (7)$$

для пил «Paritet»

$$\varepsilon = 0,29 + 0,00339 \cdot T_A - 0,0013 \cdot T. \quad (8)$$

Графическая интерпретация уравнения (8) представлена на рисунке.



Сопоставив значения КТИ, полученных из уравнений (7) и (8), с табличными были установлены максимальные отклонения  $\delta\varepsilon$ , которые составили 0,017 и 0,019 для ГМЗ и «Paritet» соответственно.

Для ИК-контроля в реальных условиях воздействия окружающей среды с температурой  $T_A$ , преобразуя формулы (1) и (2), можно установить размер погрешности:

$$\delta T = \frac{T}{n} \left[ 1 - \left( \frac{T_A}{T} \right)^n \right] \left| \frac{\delta\varepsilon}{\varepsilon} \right|. \quad (9)$$

Максимальные отклонения температуры, судя по таблице и формуле (9), будут наблюдаться в точке (10; 100). Рассчитанные значения  $\delta T$  равны 4,3 и 4,7 °С, что не превышает 5 % от максимального значения температуры нагрева.

Основным результатом проделанной работы можно считать установление значений и характера изменения КТИ корпусов круглых пил в длинноволновом спектральном диапазоне. Разработанные математические модели расчета КТИ позволят значительно снизить размер методической погрешности при выполнении температурного ИК-контроля в условиях реального пиления на круглопильных станках для распиловки древесины.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вавилов В.П.* Инфракрасная термография и тепловой контроль. М.: ИД «Спектр», 2009. 544 с.
2. *Воскобойников Ю.Е.* Регрессионный анализ данных в пакете Mathcad: учеб. пособие. СПб.: Лань, 2011. 224 с.
3. *Иванова Г.М., Кузнецов Н.Д., Чистяков В.С.* Теплотехнические измерения и приборы: учеб. для вузов. М.: Изд-во МЭИ, 2005. 460 с.
4. *Неделько Н.А.* Основные преимущества и недостатки пирометрического метода измерения температуры перед контактным // Оборудование. 2006. №2. С. 21–23.
5. *Нестерук Д.А., Вавилов В.П.* Тепловой контроль и диагностика: учеб. пособие для подготовки специалистов I, II, III уровней. Томск: ТПУ, 2007. 104 с.
6. *Санев В.И.* Обработка древесины круглыми пилами. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 232 с.
7. *Стахивев Ю.М.* Работоспособность круглых пил. М.: Лесн. пром-сть, 1989. 384 с.
8. *Фрунзе А.В.* Влияние методических погрешностей пирометра на выбор прибора // Фотоника. 2012. № 3. С. 46–51; С. 56–60.
9. *Фрунзе А.В.* Об одной малоизвестной особенности пирометров спектрального отношения // Фотоника. 2013. № 3. С. 86–96.
10. *Хвиюзов М.А., Галашев А.Н.* Расчет температуры нагрева поверхности пильного диска при осуществлении пирометрического контроля // Лесн. журн. 2013. № 1. С. 60–65. (Изв. высш. учеб. заведений).
11. *Цветков Ф.Ф.* Тепломассообмен: учеб. пособие для вузов. М.: Изд-во МЭИ, 2005. 550 с.
12. *Booth N., Smith A.S.* Infrared Detectors. New York & Boston. Goodwin House Publishers. 1997. P. 241–248.
13. *Chrzanowski K., Szulim M.* Error of temperature measurement with multiband infrared systems // Applied Optics. 1999. Vol. 38, N 10. 1998 p.
14. *Maldaque X.* Theory and practice of infrared technology for nondestructive testing. USA: John Wiley & Sons., 2001. 684 p.

Поступила 26.01.15

UDC 674.053:621.93

### Compensation of Method Error in the Infrared Heating Control of Circular Saws

*M.A. Khviyuzov, Senior Lecturer*

*A.N. Galashev, Associate Professor*

*I.I. Soloviev, Associate Professor*

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation;  
e-mail: mik5512@yandex.ru; galashev@list

We suggested using the heating temperature of wood-cutting circular saws as the control and forecasting parameter of operability of a circular-saw bench. The temperature measuring of a cutting instrument of the indicated type in the lumber sawing process was possible by the method of infrared thermal control. The basic problem of infrared control was a high probability of occurrence of the method error of measurement, the dimensions of which, under certain conditions, made this method unsuitable. In this context the goal of research was to establish the mode of the method error compensation, reducing the difference between the tool and actual temperatures to a minimum. The value of the method error in remote temperature measurement by total radiation pyrometers was determined by the accuracy of taking account of coefficient of thermal emissivity of an object. The coefficient of thermal emissivity depended on numerous factors: the material and temperature of an object and external temperature. As a result of the theoretical research it was found, that there was no reliable information in the reference and methodological sources on the magnitude and nature of changes of radiation coefficient of instrument low-alloy steel applied for a saw blade housing. Therefore, it was decided to conduct an experiment using the method of thermal stimulation. As a result of the experiment it was found, that the coefficient of thermal emissivity of a saw blade housing was reduced with increasing heating temperature ranging +30...+100 °C and increased with increasing temperature of the saws work space ranging +10...+20 °C. The coefficient of thermal emissivity for the mentioned temperature ranged when measured by the pyrometers of partial radiation in the spectrum of 8 ... 14  $\mu\text{m}$  varied 0.2...0.34. As a result of regression analysis of the experiment we have established the analytic dependences of values of thermal emissivity coefficient on the heating temperature and external temperature in the area of infrared control for circular saws, made from instrument steel of 9XΦ and 80CrV2 brands. Application of regression equations enables to compensate the method error in the radiation temperature control at a level not to exceed 5 %, and they can be used at setting of pyrometers of partial radiation for measuring.

*Keywords:* temperature difference, infrared pyrometer, coefficient of thermal emissivity, heating, circular saw.

#### REFERENCES

1. Vavilov V.P. *Infrakrasnaya termografiya i teplovoy kontrol'* [Infrared Thermography and Thermal Control]. Moscow, 2009. 544 p.
2. Voskoboynikov Yu.E. *Regressionnyy analiz dannykh v pakete Mathcad* [Data Regression Analysis in the Mathcad]. Saint Petersburg, 2011. 224 p.

3. Ivanova G.M., Kuznetsov N.D., Chistyakov V.S. *Teplotekhnicheskie izmereniya i pribory* [Thermal Measurement and Devices]. Moscow, 2005. 460 p.
4. Nedel'ko N.A. Osnovnye preimushchestva i nedostatki pirometricheskogo metoda izmereniya temperatury pered kontaktnym [The Main Advantages and Disadvantages of Pyrometric Temperature Measurement Method From the Contact Method]. *Oborudovanie*, 2006, no. 2, pp. 21–23.
5. Nesteruk D.A., Vavilov V.P. *Teplovoy kontrol' i diagnostika. Uchebnoe posobie dlya podgotovki spetsialistov I, II, III urovney* [Heat Control and Diagnostics. Training Manual for the I, II, III Levels Specialists]. Tomsk, 2007. 104 p.
6. Sanev V.I. *Obrabotka drevesiny kruglymi pilami* [Circular Saws Woodworking]. Moscow, 1980. 232 p.
7. Stakhiev Yu.M. *Rabotosposobnost' kruglykh pil* [Circular Saw's Aggressiveness]. Moscow, 1989. 384 p.
8. Frunze A.V. Vliyanie metodicheskikh pogreshnostey pirometra na vybor pribora [Influence of Pyrometer Method Errors on the Device Selection]. *Photonika*, 2012, no. 3, pp. 46–51, 56–60.
9. Frunze A.V. Ob odnoy maloizvestnoy osobennosti pirometrov spektral'nogo otnosheniya [On One Little-Known Feature of Spectral Ratio Pyrometers]. *Photonika*, 2013, no. 3, pp. 86–96.
10. Khviyuzov M.A., Galashev A.N. Raschet temperatury nagreva poverkhnosti pil'nogo diska pri osushchestvlenii pirometricheskogo kontrolya [Temperature Calculation of the Blade Heating Surface in the Implementation of the Control Pyrometer]. *Lesnoy zhurnal*, 2013, no. 1, pp. 60–65.
11. Tsvetkov F.F. *Teplomassoobmen* [Heat and Mass Transfer]. Moscow, 2005. 550 p.
12. Booth N., Smith A.S. *Infrared Detectors*. New York & Boston, 1997, pp. 241–248.
13. Chrzanowski K., Szulim M. Error of Temperature Measurement with Multiband Infrared Systems. *Applied Optics*, 1999, vol. 38, no. 10. 1998 p.
14. Maldague X. *Theory and Practice of Infrared Technology for Nondestructive Testing*. New York, 2001. 684 p.

Received on January 26, 2015

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2015.6.107

---

УДК 684.59

## **СВОЙСТВА ДРЕВЕСИНЫ, УЧИТЫВАЕМЫЕ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ЗАЩИТНО-ДЕКОРАТИВНЫХ ПОКРЫТИЙ ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

© *В.И. Онегин, д-р техн. наук, проф.*

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, Институтский пер., 5, Санкт-Петербург, Россия, 194021; e-mail: onegin.ltu@mail.ru

Выпуск качественных изделий из древесины во многом определяется формированием защитно-декоративных покрытий, которое в настоящее время осуществляется преимущественно нанесением различных видов лакокрасочных материалов. Роль и значение лакокрасочных покрытий особенно возросло в первой половине XX в. в связи с развитием промышленных способов производства изделий из древесины. Научно-технические основы технологии защитно-декоративных покрытий стали закладываться в нашей стране только в начале 30-х годов прошлого столетия, когда при индустриализации страны стали широко применяться при отделке нитроцеллюлозные лаки и пневматический метод распыления лакокрасочных материалов. Еще более значительные изменения технологии отделки произошли в конце 50-х – начале 60-х гг., вызванные развитием химии полимеров. Появление полиэфирных, полиуретановых, карбамидоформальдегидных и других синтетических пленкообразователей позволило получать принципиально новые лакокрасочные системы: порошковые и вододисперсионные. Внедрение их в практику отделки древесины сдерживается вследствие невысокого блеска покрытия, а также в связи с необходимостью плавления порошков при температуре выше 200 °С. Воздействие таких температур вызывает разложение древесины, поэтому необходимо искать пути снижения температуры плавления порошков, что позволит применять их в качестве защитно-декоративных покрытий на таких материалах, как древесностружечные плиты, МДФ, фанера, а также на деревянных деталях сельскохозяйственных машин, вагонов, судов, автомобилей. В статье, посвященной обзору свойств лакокрасочных покрытий, систематизированы применительно к особенностям древесины научные представления по физико-химико-механическим процессам, которые в значительной степени способствуют формированию высококачественных защитно-декоративных покрытий. При этом исходили из того, что природа покрываемой поверхности влияет на качество покрытий больше, чем другие свойства лакокрасочного покрытия. Древесина – биологически нестойкий материал. Поскольку изучение строения и свойств древесины и древесных материалов является предметом специальных исследований, напомним лишь о тех особенностях, которые оказывают непосредственное влияние на результаты отдельных операций. Такими особенностями являются: капиллярно-пористое строение с резко выраженной анизотропией строения и свойств не только вдоль и поперек ствола дерева, но и в двух поперечных (тангентальном и радиальном) направлениях; способность сохнуть, увлажняться и ограниченно набухать подобно другим коллоидным телам; сложный химический состав, твердость, поверхностная энергия, цвет, текстура, фактура, блеск древесины. Дан анализ свойств древесины, которые необходимо знать при подготовке поверхности под отделку, учитывая специфические физико-химические свойства лакокрасочных материалов.



Раскрыт механизм физических явлений, объединяющих способность воспринимать истинный цвет и текстуру древесины при нанесении на подложку прозрачных жидких материалов и пленок.

*Ключевые слова:* древесина, подложка, анизотропия, строение, капилляры, поры, сердцевинные лучи, ворс, поглощение, отражение, смачивание, лакирование, цвет, блеск, текстура, преломление.

Свойства лакокрасочных покрытий в значительной степени зависят от вида подложки и ее предварительной подготовки.

Древесина – биологически нестойкий материал. Поскольку изучение свойств древесины и древесных материалов является предметом специальных исследований, напомним лишь о тех особенностях, которые оказывают непосредственное влияние на результаты формирования защитно-декоративных покрытий. Такими особенностями древесины являются капиллярно-пористое строение с резко выраженной анизотропией строения и свойств не только вдоль и поперек ствола дерева, но и в двух поперечных (тангентальном и радиальном) направлениях; способность сохнуть, увлажняться и ограниченно набухать подобно другим коллоидным телам; сложный химический состав.

*Пористость древесины и древесных материалов.* Вследствие капиллярно-пористого строения при любом положении плоскости среза на поверхности древесины оказывается часть перерезанных клеток со вскрытыми внутренними полостями. На радиальных и тангентальных поверхностях перерезанные полости клеток образуют канавки, углубления и направленные внутрь каналы. Большинство из них не различимы невооруженным глазом. Лишь канавки и отверстия, особенно характерные для кольцесосудистых пород, хорошо видны на поверхности. В технике отделки древесины их принято называть порами древесины.

Поры и полости могут достигать значительных размеров [14]. Так, в воздушно-сухой древесине поры и полости, заполненные воздухом и частично водой, составляют 50...80 % общего объема. По данным различных исследователей, поперечные размеры полостей клеток в свету составляют 5...50 мкм. Наибольшие размеры полостей имеют сосуды древесины (диаметр в свету – 30...90 мкм, для ранней древесины кольцесосудистых пород – 300...500 мкм).

Таким образом, как бы тщательно не была выполнена обработка древесины, поверхность ее всегда имеет анатомические неровности. Наличие пор и полостей, с одной стороны, способствует повышению адгезии лакокрасочных материалов к древесине, с другой – увеличивает нерациональный расход материалов. Поэтому во избежание большого расхода лакокрасочных материалов при создании защитно-декоративных покрытий древесины и древесных материалов нужно уменьшать поверхность контакта, для чего проводят шлифование древесины, грунтование с одновременным заполнением пор и сплошное шпатлевание (для лаков прозрачные барьерные слои).

*Капиллярная пористость древесины.* Одной из особенностей древесины является ее различная капиллярная проницаемость для жидкостей не только разных пород, но вдоль и поперек волокон. Капиллярная проницаемость выше у заболонных пород древесины, незначительна она у древесины ядровых пород (особенно для самого ядра). Поперек волокон проницаемость весьма незначительна. Поэтому лакокрасочные материалы при нанесении на тангентальные и радиальные поверхности сорбируются лишь поверхностным слоем древесины. Капиллярная проницаемость древесины вдоль волокон во много раз выше, чем поперек волокон.

Сорбция поверхностными слоями древесины наносимых на нее жидкостей и растворителей может сопровождаться ее набуханием. Хотя взаимодействие древесины с растворителями в этом случае кратковременно и набухание происходит только в поверхностных слоях древесины, тем не менее оно может вызвать появление неровностей в виде поднявшегося ворса, коробления краев пор, микротрещин, что приводит к неравномерному крашению, особенно, если участки поверхности имеют различное расположение волокон, вызываемое косослоем, свилеватостью и др. Такая неравномерность особенно ярко выражена у древесины березы, бука, липы и других заболонных пород.

*Набухание*, а следовательно, и деформирование поверхности древесины неодинаково в различных жидкостях и зависит от диэлектрической проницаемости. Максимальное набухание отмечено в воде; с уменьшением диэлектрической проницаемости ( $\epsilon$ ) степень поглощения уменьшается. Древесина практически не набухает в жидкостях с  $\epsilon \leq 5$ , ароматических (уайт-спирит) и, особенно, алифатических (бензол, толуол, ксилол) углеводородах.

Таким образом, состав растворителей в лакокрасочных материалах, наносимых непосредственно на древесину, влияет на стабильность поверхностных свойств древесины. Еще в большей мере это имеет значение при отделке древесностружечных и древесноволокнистых плит, особенностью которых является сильное поглощение и набухание их в растворителях, выше в несколько раз, чем у массивной древесины.

*Влажность древесины.* Влажность древесины может изменяться в зависимости от количества влаги и температуры окружающего воздуха, что вызывает деформацию древесины. Поэтому для получения надежного в эксплуатации покрытия влажность древесины должна быть в пределах  $(8 \pm 2) \%$  (мебель),  $(12 \pm 2) \%$  (строительно-столярные изделия).

*Твердость древесины.* В процессе эксплуатации изделия из древесины мягких пород с нанесенными лакокрасочным материалом проявляются характерные дефекты покрытия в виде механических повреждений лаковой пленки и вмятин, образующихся особенно сильно в зонах ранней древесины. Поэтому поверхность древесины необходимо предварительно уплотнять нанесением твердого слоя грунтовки или шпатлевки, служащего подложкой для основного покрытия, модификацией древесины с помощью различных полимерных композиций, термомеханической обработкой, уплотнением поверхностных

слоев прокатом предварительно нагретой древесины или комбинацией различных способов одновременно.

*Термостойкость древесины.* Термическое разложение древесины начинается при температуре 140 °С. Это сдерживает применение порошковых лакокрасочных материалов для отделки древесины, не позволяет применять для предварительного аккумулирования тепла сильно нагретые поверхности плит прессы или цилиндров термопрокатных станков при контактном методе нагрева древесины.

*Химический состав древесины.* Помимо целлюлозы, гемицеллюлоз и лигнина, составляющих основную массу древесины большинства пород, в ней могут содержаться, в больших или меньших количествах, также смолы, терпены, камеди, красящие и дубильные вещества, танины и др. Эти составляющие, особенно красящие вещества и танины, могут оказывать существенное влияние на процессы и результаты отделки древесины, прежде всего на процесс ее окрашивания.

Известно, что некоторые вещества (гидрохинон и пирокатехин) резко замедляют процесс отверждения лаков, а на древесине некоторых пород отдельные виды лакокрасочных материалов могут вообще не отверждаться. Например, полиэфирные лаки с органическими перекисями в качестве инициатора практически непригодны для непосредственного нанесения на древесину палисандра и некоторых других тропических пород. Резкое замедление сушки и образование дефектов пленки у полиэфирных лаков наблюдается также на древесине многих хвойных пород (сосна, лиственница), причем не на всей поверхности, а лишь на тех участках, которые имеют сучки, засмолы, или на ядровой части с большим содержанием смолы.

*Поверхностная энергия древесины* [1–8, 10]. Древесина относится к низкоэнергетическим материалам с поверхностной энергией менее 50 МДж/м<sup>2</sup>. Поверхностная энергия твердых тел определяет такие важные при отделке свойства, как смачивание, растекание, адгезионную прочность. При соответствии знака полярности любые жидкости тем лучше смачивают древесину, чем выше поверхностная энергия. Поверхностная энергия может быть значительно изменена модифицированием различными химическими продуктами, поверхностно-активными веществами или физико-механическими методами обработки поверхности древесины. Таким образом, сложность физико-химического строения древесины приводит к необходимости включать в процесс подготовку ее поверхности к отделке механическими, физическими и механическими методами с достижением основной цели – увеличение поверхностной активности подложки.

Эксплуатационные качества лакокрасочных покрытий определяются целым комплексом их физико-механических свойств: адгезией к поверхности, твердостью, эластичностью, прочностью на истирание, стойкостью к воздействию тепла, света, влаги, химических реагентов. Эти свойства в настоящее

время гарантированно могут быть обеспечены подбором соответствующих лакокрасочных материалов и их модификацией в необходимом направлении.

Сложнее обеспечить художественную выразительность изделий из древесины (декоративная составляющая), исходя из свойств древесины, которые характеризуют цвет, блеск и текстуру [9].

*Цвет древесины.* Цветом называется характеристика зрительного ощущения, позволяющая наблюдателю распознавать качественные различия излучений, обусловленные различием спектрального состава цвета. С физико-химической точки зрения цвет вещества (тела) характеризуется способностью поглощать (или отражать, пропускать) лучи света (электро-магнитные колебания) определенной длины волны как видимой, так и невидимой областей спектра.

Цвет материала обусловлен тем, что его молекулы поглощают только определенную часть падающих на них лучей света. Глаз человека различает лишь часть световых лучей, относящихся к видимой области спектра (400...800 нм). Совместное действие лучей всего интервала видимой области на сетчатку глаза вызывает ощущение белого цвета. Ощущение дополнительных цветов возникает в зрительном аппарате, если из белого изъять какой-либо цвет спектра. Например, если материал поглощает фиолетовые лучи (400...435 нм), глаз наблюдателя увидит зеленовато-желтый цвет. Объект, поглощающий желтые лучи, кажется нам синим, красный цвет на черной поверхности дает ощущение зеленого. Цвет и степень контрастов между фоном и предметами оказывает большое влияние на восприятие объема, формы и положения предметов в пространстве. Поэтому цвет выступает в качестве одного из основных декоративных свойств поверхности лакокрасочного покрытия.

Цвет древесины разный и во многом зависит от условий, в которых произрастало дерево. Породы древесины умеренного пояса имеют бледную окраску, а древесина, произрастающая в тропических условиях, обычно ярко окрашена. В пределах одного климатического пояса (умеренного) наиболее интенсивно окрашены дуб, орех, тис, шелковица, произрастающие в более теплых зонах нашей страны, а сосна, ель, береза, распространенные в более холодных зонах, имеют бледную окраску. Следует иметь в виду, что цвет древесины изменяется после пребывания на воздухе. Одни породы древесины при этом темнеют (ель, сосна, пихта), другие (бук, осина, дуб) светлеют. Цвет древесины может изменяться под воздействием влаги.

*Блеск древесины* – это способность направленно отражать световой поток. Отражающая способность древесины тесно связана с размерами и характером неровностей [13].

По степени отражения различают поверхности глянцевые и матовые [9, 11, 12]. Глянцевые поверхности в значительной степени отражают падающий на них световой поток, матовые поверхности, имеющие однородные неровности, рассеивают отраженный световой поток не направленно, а диффузно, т. е. равномерно во все стороны.

Порода	Степень блеска поверхности	Относительный показатель блеска (по отношению к блеску радиальной поверхности осины)
Осина	16,27/14,60	1,00/0,90
Рябина (заболонь)	14,00/ –	0,86/ –
Ива (заболонь)	13,80/ –	0,85/ –
Сосна (заболонь)	13,75/12,78	0,82/0,78
Липа	11,87/10,35	0,73/0,64
Явор	11,70/12,10	0,72/0,74
Пихта	11,70/10,50	0,72/0,65
Ель	11,63/11,36	0,71/0,70
Береза	11,20/11,60	0,69/0,71
Клен	11,10/8,20	0,68/0,50
Ольха	10,62/8,62	0,65/0,53
Бук	8,28/7,56	0,51/0,47
Ясень (ядро)	7,78/7,24	0,48/0,44
Ильм (ядро)	7,80/7,55	0,48/0,47
Дуб	6,79/5,90	0,42/0,36
Бархатное дерево	6,40/6,10	0,39/0,37

Примечание: В числителе – радиальная плоскость резания; в знаменателе – тангентальная.

Поверхность древесины до отделки лакокрасочными материалами обладает незначительным блеском, зависящим от ее цвета и анатомического строения. Древесина кольцепоровых пород (дуб, ясень) и некоторых рассеяно-поровых (бук) имеет меньший блеск, чем древесина светлых пород (береза, липа, осина и др.). Данные о блеске древесины некоторых пород представлены в таблице, где за единицу принят блеск радиальной поверхности осины.

Данные таблицы показывают, что чем светлее древесина, т. е. чем больше светлота, тем больше степень блеска.

Блеск древесины увеличивается с уменьшением длины волны и чистоты цвета. Шелковистый блеск свойственен древесине бархатного дерева, заметным блеском отличается древесина сатинового дерева и махагонии (красного дерева).

Если на продольных разрезах древесины имеются участки с небольшими анатомическими неровностями, то при их освещении появляются блики, отсветы. Они обусловлены способностью сердцевинных лучей зеркально отражать свет и характерны для таких пород, как клен платан, бук, ильм, дуб и др.

Блеск древесины зависит также и от характера освещения, состояния поверхности и других факторов, прежде всего от текстуры древесины.

*Текстура древесины* – это поверхностный рисунок, образованный в результате перерезания анатомических элементов. Чем сложнее строение древесины и разнообразнее сочетание отдельных элементов, тем богаче и красивее текстура.

Поверхность древесины хвойных пород имеет простое строение и характеризуется однообразной текстурой, древесина лиственных пород обладает сложным строением и отличается разнообразной текстурой.

Текстура древесины зависит от ширины и линейной формы годичных слоев, различия плотности и окраски ранней и поздней древесины, сердцевинных лучей, крупных сосудов, направления волокон (волнистая и свилеватая древесина), сучковатости.

Рисунок текстуры изменяется в зависимости от направления обработки (от плоскости резания): радиальной, тангентальной, радиально-торцовой, тангентально-торцовой. На практике обычно используют древесину, полученную при тангентальном и радиальном срезе, для некоторых пород красивым получается только один из срезов.

Если рисунок текстуры обусловлен контрастностью между ранней и поздней древесиной, то более красивая текстура выявляется на тангентальных поверхностях (ясень, орех), а красота сердцевинных лучей лучшим образом выявляется на радиальных (чинара, клен).

Декоративные свойства натуральной древесины не всегда удовлетворяют требованиям потребителя изделий. Чтобы улучшить декоративность древесины без изменения текстуры применяют различные методы: зачистка поверхности древесины, удаление ворса, крашение древесины, термомеханическая обработка подложек, применение порозаполняющих составов, напрессовка прозрачных пленок, лакирование.

Все перечисленные методы, кроме нанесения прозрачных лаков на поверхность древесины, не нуждаются в особых комментариях, они понятны и доступны практикам. Нанесение прозрачных лаков и пленок, принципиально изменяющих восприятие поверхности древесины, может быть объяснено на основе физических явлений, сопутствующих данному методу улучшения декоративных свойств древесины, и дать ответ на вопрос: почему блестит лакированная древесина?

Сложное физико-химическое строение древесины, зависимость свойств не только от породы, но и положения поверхности среза, наличие пороков, различие свойств ранней и поздней древесины приводит к тому, что невозможно объективно оценить истинные свойства древесины. Данное положение можно объяснить следующим образом.

Рисунок текстуры, отражающий анатомическое строение древесины, не лежит в одной плоскости, а является объемным. Однако распознать эту особенность строения древесины мешает ее низкая прозрачность. Наличие сосудов, капилляров, сердцевинных лучей, следов механической обработки делают поверхность древесины неровной, шероховатой. Таким поверхностям присуще не только диффузное отражение, которое имеет двоякий характер. Дело в том, что основной компонент древесины (целлюлоза) и другие компоненты могут давать и зеркальное отражение. Поскольку лучи света отражаются

от хаотически расположенных неровностей, при этом каждый в свою сторону, то в результате свет рассеивается, т. е. отражение получается диффузным, но по своей природе остается таким же, как и отражение от гладкой зеркальной поверхности. Поэтому кроме окрашенного (в физике его называют селективным) диффузного отражения шероховатая поверхность древесины дает еще и неселективное отражение, так как ее неровности посылают во все стороны белые блики. Поскольку эти неровности расположены так часто, что глаз не способен отделить их друг от друга, то и блики сливаются в глазу в белый единый фон, который мешает рассмотреть истинный цвет поверхности, и она кажется более белесоватой, а текстура просматривается менее четко.

Если такую поверхность покрыть тонким слоем лака, то он заполнит все впадины и сделает ее более гладкой. В результате все мелкие блики сольются в один, который уже не будет мешать рассмотрению большей части поверхности. Причина заключается в том, что зеркальное отражение от поверхности древесины уменьшилось, а диффузное изменилось незначительно. Свет отражается преимущественно от границы между лаком и воздухом, в меньшей степени – от границы между лаком и покрытой им поверхностью. Объяснить данное явление можно на основании закона О. Френеля, согласно которому от границы двух тел отражается тем больше света, чем больше отношение показателей преломления этих тел (большой всегда делится на меньший). Показатель преломления воздуха близок к единице, лака – обычно больше. Показатели преломления лаков, применяемых для отделки древесины, составляет 1,530...1,566, показатель преломления древесины относительно воздуха – 1,520...1,550. Поэтому при замене воздуха на лак отношение показателей преломления приближается к единице, уменьшается тем самым количество отраженного света.

Для древесины, имеющей поры, характерно еще одно явление. Заполняя поры, лак уменьшает отражение света не только при входе его в каждую клетку, составляющую данную подложку, но и при выходе из нее. Поэтому свет начинает глубже проникать внутрь тела и может выйти обратно, лишь пройдя большое число таких пор. Если поры окрашены, т. е. получают световые лучи одного цвета больше, чем другого, то выходящий наружу свет будет сильно отличаться по составу от падающего. А это значит, что поверхность приобрела более насыщенный цвет.

Таким образом, для хорошего выявления текстуры необходимо, чтобы лаки имели показатели преломления, равные или близкие к показателям преломления древесины, смачивали ее и проникали в поры, вытесняя оттуда воздух.

#### *Выводы*

1. Природа покрываемой лакокрасочными материалами поверхности влияет на качество защитно-декоративных покрытий больше, чем любое другое свойство лакокрасочного покрытия.

2. Во избежание большого расхода лакокрасочных материалов нужно всегда стремиться уменьшить поверхность контакта, в отличие от того, что делается при отделке металлов, пластмасс, резины, керамики и других непористых материалов.

3. При нанесении лакокрасочных материалов на поверхность древесины рекомендуется применять растворители с низким значением диэлектрической проницаемости.

4. Для объективной оценки истинных декоративных свойств древесины при прозрачной отделке необходимо подбирать лаки так, чтобы показатели их преломления были близки к показателям преломления древесины и хорошо смачивали подложку.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буглай Б.М. Технология отделки древесины. М.: Госбумиздат, 1962. 349 с.
2. Жуков Е.В., Онегин В.И. Технология защитно-декоративных покрытий древесных материалов. М.: Экология, 1993. 304 с.
3. Онегин В.И., Егоров В.А. Определение адгезионного натяжения полиэфирного лака на подложке из полиметилметакрилата// Лесн. журн. 1979. № 1. С. 56–58. (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Онегин В.И., Егоров В.А. Определение показателя преломления полиэфирного лака по мольной рефракции// Лесн. журн. 1982. № 1. С. 102–103. (Изв. высш. учеб. заведений).
5. Онегин В.И., Егоров В.А., Каримов В.С. Математическое описание процесса нанесения жидкого слоя лакокрасочного материала на движущуюся подложку// Лесн. журн. 1987. № 4. С. 130–132. (Изв. высш. учебных заведений).
6. Онегин В.И., Каратаев С.Г., Сосна Л.М. Моделирование и идентификация классифицирующих показателей свойств древесины тропических пород// Изв. СПбЛТА. 1995. Вып. 3(161). С. 168–169.
7. Онегин В.И., Кузнецова Е.Г. Исследование строения хвойной древесины и его влияния на физико-механические и акустические свойства древесных веществ// Изв. СПбЛТУ. 2012. Вып. 199. С. 190–200.
8. Онегин В.И., Паянский-Гвоздев В.М., Сосна Л.М. Экспертные задачи принятия решений в технологии деревообработки// Лесн. журн. 1994. № 3. С. 33–40. (Изв. высш. учеб. заведений).
9. Рыбин Б.М. Оценка блеска прозрачных лаковых покрытий// Лесн. журн. 1990. № 6. С. 89 – 95. (Изв. высш. учеб. заведений).
10. Рыбин Б.М. Технология и оборудование защитно-декоративных покрытий древесины и древесных материалов. М.: МГУЛ, 2003. 568 с.
11. Рыбин Б.М., Завражнова И.А. К вопросу оценки качества внешнего вида поверхностей защитно-декоративных покрытий на изделиях мебели // Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 2010. № 1. С. 127–131.
12. Рыбин Б.М., Завражнова И.А. К вопросу нормативных показателей блеска защитно-декоративных покрытий на деревянных подложках// Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 2011. № 3. С. 122–125.



13. Рыбин Б.М., Завражнова И.А., Пищук И.И. Влияние микрогеометрии контролируемой поверхности покрытия на показатели блескомеров // Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 2012. № 5. С. 72–75.

14. Рыбин Б.М., Кириллов Д.В. Оценка фактического объема полостей неровностей на обработанной поверхности древесины // Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 2014. № 5. С. 131–137.

Поступила 19.12.14

UDC 684.59

### **Important Wood Properties for Formation of Protective and Decorative Coatings of Wood and Forest Products**

*V.I. Onegin, Doctor of Engineering Sciences, Professor*

Saint Petersburg State Forest Technical University, Institutskiy per., 5, Saint Petersburg, 194021, Russian Federation; e-mail: onegin.ltu@mail.ru

Production of high-quality wood products is largely determined by the formation of protective and decorative coatings, which currently is carried out mainly by applying of different types of paint and varnish materials. The role and importance of the lacquer coatings particularly increased in the first half of the 20th century in connection with the development of industrial processes of production of wood products. Scientific and technical fundamentals of protective and decorative coatings had been built in our country only in the early 30-ies of the last century in the period of industrialization, when the nitrocellulose lacquers and pneumatic spraying method of paints and varnishes were widely used in the decoration. More significant changes in the finishing technology occurred in the late 50's – early 60's due to the great success of the polymer chemistry development. The emergence of polyester, polyurethane, urea-formaldehyde and other synthetic binders allowed obtaining fundamentally new powder and water-dispersible paint systems. Their low level of gloss coating and the necessity of melting of powders at temperature above 200 °C restrain the introduction of those materials in practice of wood finishing. The temperature impact on the wood causes its mineralization. Hence, it's necessary to seek ways to reduce the melting temperature of powders, which will use them to form the protective and decorative coatings on materials, such as particle boards, MDF, plywood, as well as on the wooden parts of agricultural machines, wagons, ships and cars. The paper is devoted to the review of the lacquer coatings. The scientific notations about the physical, chemical and mechanical processes that significantly contribute to the formation of high-quality protective and decorative coatings are systematized in relation to the wood characteristics. The nature of the coating surface affects the coating quality more than any another property of the lacquer coating. Wood is biologically unstable material. The study of the structure and properties of wood and wood-based materials is the subject of the special investigations, focused on the characteristics that have a direct impact on the results of individual operations. The features are: a capillary-porous structure with a strongly pronounced anisotropy of the structure and properties along, crosswise the tree trunk and in tangential and radial directions; the ability to dry and moisturize and limited swelling like other colloidal solids; a complex chemical composition, hardness of wood, surface energy, color, texture, glaze of wood. The paper presents the analysis of

wood properties, which necessary to be considered at preparing a surface for finishing, with regard to the specific physical and chemical properties of paints and varnishes. The mechanism of physical phenomena involving the ability to perceive a true color and wood texture at applying the transparent liquid materials and films on a substrate is developed.

*Keywords:* wood, substrate, anisotropy, structure, capillaries, pores, medullary rays, nap, absorption, reflection, moistening, lacquering, color, gloss, texture, refraction.

#### REFERENCES

1. Buglay B.M. *Tekhnologiya otdelki drevesiny* [Wood Finishing Technology]. Moscow, 1962. 349 p.
2. Zhukov E.V., Onegin V.I. *Tekhnologiya zashchitno-dekorativnykh pokrytiy drevesnykh materialov* [Technology of Protective and Decorative Coatings of Wood Materials]. Moscow, 1993. 304 p.
3. Onegin V.I., Egorov V.A. Opredelenie adgezionnogo natyazheniya poliefirnogo laka na podlozhke iz polimetilmetakrilata [Determination of Adhesion Tension of Polyester Lacquer on a Polymethylmethacrylate Substrate]. *Lesnoy zhurnal*, 1979, no. 1, pp. 56 – 58.
4. Onegin V.I., Egorov V.A. Opredelenie pokazatelya prelomleniya poliefirnogo laka po mol'noy refraktsii [Determination of the Refractive Index of Polyester Lacquer on the Molar Refraction]. *Lesnoy zhurnal*, 1982, no. 1, pp. 102–103.
5. Onegin V.I., Egorov V.A., Karimov V.S. Matematicheskoe opisanie protsessa naneseniya zhidkogo sloya lakokrasochnogo materiala na dvizhushchuyusya podlozhku [The Mathematical Description of the Applying Process of a Liquid Layer of Paintwork Material onto a Moving Substrate]. *Lesnoy zhurnal*, 1987, no. 4, pp. 130–132.
6. Onegin V.I., Karataev S.G., Sosna L.M. Modelirovanie i identifikatsiya klassifitsiruyushchikh pokazateley svoystv drevesiny tropicheskikh porod [Modeling and Identification of Classifying Performance Properties of Tropical Wood]. *Izvestia SPbLTA*, 1995, no. 3 (161), pp. 168–169.
7. Onegin V.I., Kuznetsova E.G. Issledovanie stroeniya khvoynoy drevesiny i ego vliyaniya na fiziko-mekhanicheskie i akusticheskie svoystva drevesnykh veshchestv [Investigation of the Soft Wood Structure and Its Impact on the Physical, Mechanical and Acoustic Properties of Wood Materials]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo lesotekhnicheskogo universiteta*, 2012, no. 199, pp. 190–200.
8. Onegin V.I., Payanskiy-Gvozdev V.M., Sosna L.M. Ekspertnye zadachi prinyatiya resheniy v tekhnologii derevoobrabotki [Expert Problem of Decision Making in the Wood Technology]. *Lesnoy zhurnal*, 1994, no. 3, pp. 33–40.
9. Rybin B.M. Otsenka bleska prozrachnykh lakovykh pokrytiy [Evaluation of Clear Lacquers Gloss]. *Lesnoy zhurnal*, 1990, no. 6, pp. 89–95.
10. Rybin B.M. *Tekhnologiya i oborudovanie zashchitno-dekorativnykh pokrytiy drevesiny i drevesnykh materialov* [Technology and Equipment for Protective and Decorative Coatings and Wood Materials]. Moscow, 2003. 568 p.
11. Rybin B.M., Zavrazhnova I.A. K voprosu otsenki kachestva vneshnego vida poverkhnostey zashchitno-dekorativnykh pokrytiy na izdeliyakh mebeli [On the Issue of the Quality Evaluation of the Surface Appearance of Protective and Decorative Coatings on the

Pieces of Furniture]. *Vestnik MGUL «Lesnoy vestnik»* [Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoy Vestnik], 2010, no. 1, pp. 127–131.

12. Rybin B.M., Zavrzhnova I.A. K voprosu normativnykh pokazateley bleska zashchitno-dekorativnykh pokrytiy na derevyannykh podlozhkakh [On the Issue of Normative Gloss Parameters of Protective and Decorative Coatings on the Wooden Substrates]. *Vestnik MGUL «Lesnoy vestnik»* [Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoy Vestnik], 2011, no. 3, pp. 122–125.

13. Rybin B.M., Zavrzhnova I.A., Pishchik I.I. Vliyaniye mikrogeometrii kontrolirovomoy poverkhnosti pokrytiya na pokazateli bleskomerov [The Influence of a Controlled Surface Coating Microgeometry on the Gloss Meter Indexes]. *Vestnik MGUL «Lesnoy vestnik»* [Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoy Vestnik], 2012, no. 5, pp. 72–75.

14. Rybin B.M., Kirillov D.V. Otsenka fakticheskogo ob"ema polostey nerovnostey na obrabotannoy poverkhnosti drevesiny [Assessment of the Actual Volume of the Irregularity Cavities on a Treated Wood Surface]. *Vestnik MGUL «Lesnoy vestnik»* [Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoy Vestnik], 2014, no. 5, pp. 131–137.

Received on December 19, 2014

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2015.6.116

---

УДК 691.11

**ВЛИЯНИЕ УРОВНЯ НАПРЯЖЕНИЙ  
НА ПОЛЗУЧЕСТЬ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ ИЗГИБЕ**

© Д.К. Арленинов, д-р техн. наук, проф.

Д.А. Беккер, зав. лаб.

Московский государственный строительный университет, Ярославское ш., 26,  
Москва, Россия, 129337; e-mail: dkarleninov@mail.ru; vonbeck@mail.ru

На ползучесть древесины под действием длительной нагрузки в значительной степени влияет уровень напряжения в конструкции. Ранее деформационные свойства исследовались в меньшей степени, и в стадии нелинейной ползучести. Поэтому отсутствуют экспериментальные данные длительных испытаний при небольших уровнях напряжений, позволяющих получить зависимость «напряжение–относительные деформации». Цель проводимых исследований – получение количественных оценок ползучести древесины, выраженных в полных (упругих и остаточных) относительных деформациях при проектных уровнях напряжений. Длительные испытания четырех деревянных образцов ели, выпиленных из одной доски, проводили в режиме «изгиб» при разных уровнях напряжений (от 2 до 13 МПа) в сухом теплом помещении при стабильном температурно-влажностном режиме. Влажность образцов при испытаниях составляла 6 %. Достоверность результатов испытаний, приведенных к 12 % влажности по известным формулам, оценивали сравнением вычисленных значений кратковременного и длительного модулей упругости с нормативными значениями. Полученные результаты подтвердили предпосылку о влиянии уровня напряжений на ползучесть и продолжительность процесса. При малых уровнях нормальных напряжений в середине пролета затухание ползучести произошло в течение первого месяца, при напряжениях, близких к расчетному сопротивлению, – по истечении шести месяцев. В течение седьмого месяца нарастание прогиба не наблюдалось. По замерам прогибов в течение всего времени испытаний вычисляли фактические значения полных относительных деформаций. Полученные данные были использованы для построения графиков «полные относительные деформации–продолжительность выдержки» для каждого образца. Эти графики легли в основу представленной в статье зависимости «напряжение–полные относительные деформации», которую можно применить для определения модуля деформаций. В заключении сделан вывод, что для построения достоверной эмпирической зависимости и дальнейшей аппроксимации исследования надо продолжить, увеличив количество образцов и расширив диапазон напряжений.

*Ключевые слова:* ползучесть древесины, длительная нагрузка, модуль упругости, относительные деформации.

В настоящее время при нелинейных расчетах деревянных конструкций используется аппроксимирующая зависимость диаграммы сжатия древесины, полученная при стандартных прессовых испытаниях. Таким образом, влияние ползучести древесины при этом не учитывается. Цель данной работы – предложить алгоритм построения экспериментальных диаграмм, учитывающих влияние ползучести.

Известно, что на ползучесть древесины под действием длительной нагрузки наиболее значительно влияют два фактора: напряжение, которое перемененно по длине изгибаемого и сжато-изгибаемого элемента, и влажность древесины, которая практически равномерна по длине.

Анализ российских публикаций показывает, что в проводимых ранее экспериментальных исследованиях длительной нагрузкой изгибаемых деревянных элементов изучались, в основном, либо вопросы длительной прочности древесины [2, 5] в том числе клееной [3, 8, 10], либо вопросы длительной прочности клеевых соединений [1]. Однако по ряду причин результаты этих исследований не могут использоваться при практическом изучении деревянных конструкций в процессе эксплуатации зданий и сооружений. В частности, в исследованиях [1] величина приложенной нагрузки была значительно больше расчетной, вследствие чего нормальные напряжения в расчетных сечениях были выше расчетных сопротивлений древесины при изгибе и сдвиге в 1,5–1,6 раза. В других исследованиях либо нагрузки выдерживали непродолжительное время [3], либо клееные деревянные балки использовали как контрольные образцы для сравнительных анализов. Например, в [8] основной целью являлась работа составных балок по высоте, в [10] исследовалось напряженно-деформированное состояние балок, армированных стальной арматурой, которая клеивалась на эпоксидно-цементном клее. С точки зрения оценки ползучести клееной древесины эти результаты были интересны, так как испытания проводили длительное время, вплоть до затухания деформаций нагрузками, близкими к расчетным, при постоянном температурно-влажностном режиме в лабораторных условиях. Результаты этих испытаний при стабильной влажности древесины показали приращение прогибов во времени, величина которых зависит от уровня напряжений. Наиболее интересные экспериментальные исследования по оценке ползучести древесины хвойных пород были опубликованы в работе [6]. Исследования были проведены в режиме сжатия, причем напряжение в образцах составляло 100, 125 и 150 кг/см<sup>2</sup> при влажности образцов 9 %. Результаты этих испытаний показали, что развитие пластических деформаций довольно достоверно описывается линейно-степенной зависимостью Ф.И. Герстнера. Проведение соответствующих исследований в режиме изгиба не обнаружено. На отсутствие экспериментальных данных по оценке ползучести древесины ссылаются и другие авторы как прямо [9], так и косвенно [7], объясняя это большим разбросом величин полученных при испытании образцов древесины. С этим сложно согласиться, так как стандартные прессовые испытания на прочность также имеют большой разброс в показателях.

Что касается экспериментальных исследований по влиянию влажности на ползучесть древесины при различных уровнях напряжений, то они в России целенаправленно не проводились. Необходимо лишь отметить исследование И.М. Линькова в 70-х гг. XX в. по деформативности клефанерных плит с деревянными ребрами, нагруженными равномерно-распределенной нагрузкой

100 кг/м<sup>2</sup>, что соответствовало, по нормам тех лет, нормативной снеговой нагрузке для 3-го снегового района СССР. Испытания проходили на открытом воздухе в течении 3 лет. К сожалению, результаты замеров деформаций были утеряны. Автор был техническим участником тех испытаний и в его памяти осталось, что после разгрузки и «отдыха» полные прогибы значительно превышали упругие. Кроме того, в эксперименте получен следующий интересный результат. После разгрузки и «отдыха» панелей из деревянных ребер были вырезаны образцы, которые испытывали по стандартной методике на прочность и для определения кратковременного модуля упругости. Результаты прессовых испытаний соответствовали результатам таких же испытаний образцов, вырезанных из исходного пиломатериала, который использовали для изготовления плит, т. е. ползучесть древесины не сказывалась на кратковременной прочности образцов

Известны теоретические исследования [4, 11], в которых использованы эмпирические зависимости, показывающие влияние влажности на ползучесть деревянных элементов в эксплуатируемых конструкциях при напряжениях в них, близких к расчетному сопротивлению древесины. Для оценки этого явления оба автора рекомендуют вводить так называемый длительный модуль упругости, который у обоих авторов отличается по величине незначительно. По данным Ю.М. Иванова длительный модуль упругости за период эксплуатации под нагрузкой в течение 50 лет должен снизиться от 10 000 до 6 920 МПа при влажности древесины 15 %, которая, как считает автор, имеет место в помещениях с нормальным режимом эксплуатации при относительной влажности воздуха 60... 75 % и обычных сезонных колебаниях температуры и влажности. По данным В.А. Цапева при влажности древесины 15 % длительный модуль упругости следует назначать 6 400 МПа, при влажности 9...12 % – 6 900 МПа. Таким образом, суммируя влияние ползучести древесины от увлажнения и уровня напряжений, можно утверждать, что введенная в СНиП 11-25-80 нормативная величина длительного модуля упругости для расчета деревянных конструкций по деформированной схеме и для расчета на устойчивость, равная 4000 МПа, справедлива, несмотря на критику многих специалистов.

Учитывая отсутствие экспериментальных данных по влиянию уровня напряжений на ползучесть древесины при напряжениях, не превышающих расчетного сопротивления в зоне максимальных изгибающих моментов, в которой бы определялись остаточные деформации, были проведены длительные испытания на изгиб четыре образцов длиной 146 см, вырезанных из одной еловой доски, чтобы избежать фактора неоднородности древесины. Испытания проводились в подвальном помещении учебно-лабораторного корпуса МГСУ. Образцы выдерживали в помещении до равновесной влажности, которая составляла 6 %. Сечение образцов составляло 10,0×2,7 см. Образцы испытывали в положении, при котором кромка была высотой сечения, пласть –

его шириной. Такое нестандартное положение балочных образцов объяснялось тремя факторами:

минимизацией влияния сдвига на прогибы образцов;

наличием в наиболее напряженных зонах сечения максимального количества волокон;

исключением фактора плоской формы деформирования при изгибе.

Нагружение осуществляли по стандартной методике двумя сосредоточенными силами, расположенными в третях пролета. В первом образце две силы по 32,28 кг вызывали напряжение в расчетном сечении 13 МПа. Во втором, третьем и четвертом образцах силы составляли 27,28; 7,98; 5,98 кг, напряжения – соответственно 12,0; 3,4; 2,4 МПа соответственно. Замеры абсолютных деформаций осуществляли прогибомерами Максимова (цена деления шкалы 0,1 мм), закрепленными в середине пролета. На первом и втором образцах относительные деформации измеряли пятью тензодатчиками сопротивления с базой 20 мм, наклеенными на каждый образец: четыре датчика наклеивали по длине пролета в зоне от опоры до сосредоточенной силы с одинаковым интервалом 9,6 см, пятый – в зоне постоянного изгибающего момента.

Полученные результаты испытаний и вычисленные относительные деформации приведены в табл. 1, 2. Упругие относительные деформации вычисляли по значению прогиба в момент нагружения, длительные относительные деформации – ежемесячно по результатам замеров при выдерживании нагрузки:

$$\varepsilon = 28,17 \frac{\sigma f}{Pl^3},$$

где  $\sigma$ ,  $P$  – напряжение и нагрузка в зоне чистого изгиба каждого образца;

$f$  – соответствующие прогибы в процессе испытаний.

Таблица 1

**Прогибы испытываемых образцов в течение первого месяца эксперимента**

№ образца	Напряжение, МПа	Упругий прогиб, см	Продолжительность испытаний, нед.	Полный прогиб, см
1	13,0	1,56	1	1,68
			2	1,96
			3	2,79
			4	2,82
2	12,0	1,40	1	1,60
			2	1,68
			3	1,72
			4	1,79
3	3,4	0,33	1	0,37
			2	0,39
			3	0,40
			4	0,40
4	2,4	0,31	1	0,32
			2	0,32
			3	0,33
			4	0,33

Таблица 2

**Прогибы и относительные деформации испытываемых образцов  
в течение всего срока эксперимента**

№ образца	Напряжение, МПа	Упругая стадия		Полная стадия		Продолжительность испытаний, мес.
		Прогиб, см	Относительная деформация	Полный прогиб, см	Полная относительная деформация	
1	13,0	1,56	0,00093	2,82	0,00168	1
				3,04	0,00182	2
				–	–	3
				3,17	0,00189	4
				3,19	0,00191	5
				3,20	0,00192	6
2	12,0	1,4	0,00089	1,79	0,00117	1
				2,05	0,00134	2
				–	–	3
				2,24	0,00146	4
				2,25	0,00148	5
				–	–	6
3	3,4	0,33	0,00021	0,40	0,00026	1
				0,40	0,00026	2
				–	–	3
				0,40	0,00026	4
				–	–	5
				–	–	6
4	2,4	0,31	0,00018	0,33	0,00019	1
				0,33	0,00019	2
				–	–	3
				0,33	0,00019	4
				–	–	5
				–	–	6

По данным испытаний построены графики для каждого образца в координатах «длительные относительные деформации–продолжительность действия нагрузки» (рис. 1).

На основании результатов экспериментов, проведенных в течение шести месяцев, можно сделать первые выводы.

При малых уровнях напряжений (2,4 и 3,4 МПа) деформации ползучести увеличиваются незначительно, причем максимальный рост отмечен на первой неделе наблюдений (см. табл. 1). Далее (в течение пяти месяцев) прироста прогибов не было. На основании этого можно предположить, что при малых уровнях напряжений влияние фактора ползучести для расчета пренебрежимо мало, и его можно не учитывать. При напряжениях 12,0 и 13,0 МПа,



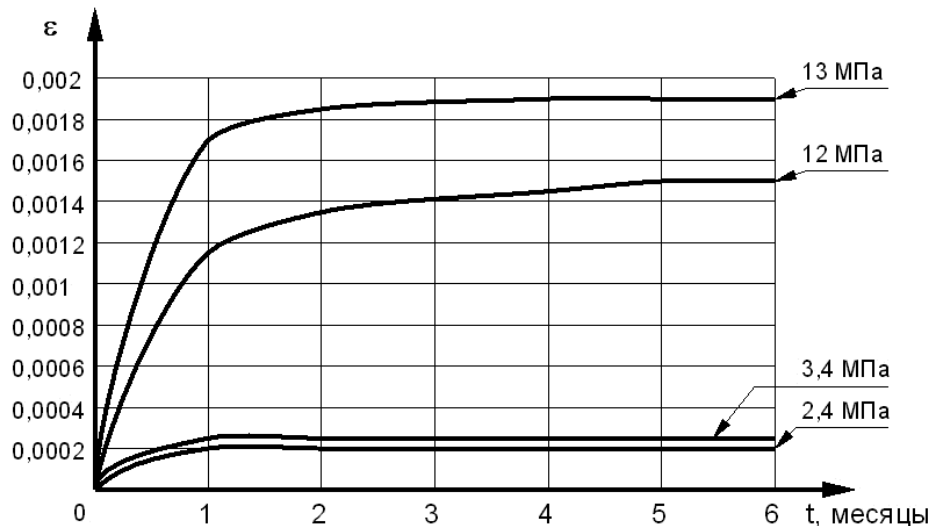


Рис. 1. Зависимость полных относительных деформаций ( $\varepsilon$ ) образцов от времени ( $t$ ) действия нагрузки

близких к расчетному сопротивлению, деформации начинают затухать к шестому месяцу. При этом их интенсивный рост проявляется в первый месяц, еще до конца третьей недели испытаний. По истечении шести месяцев видно, что значения прогибов близки к стабилизации.

Итоговым результатом экспериментальных исследований является зависимость «напряжения – длительные относительные деформации», которая используется для нелинейных расчетов. Эту зависимость получим, используя диаграммы, представленные на рис. 1 для одного и того же срока. Построим данную диаграмму (рис. 2) для заданной длительности действия нагрузки, при которой ползучесть древесины в изгибающем элементе стабилизируется, т. е. для шести месяцев.

Поскольку точность данной диаграммы зависит от количества испытываемых образцов, эксперимент следует продолжить с увеличением количества образцов и поставить образцы при других уровнях напряжений.

Оценим корректность полученных результатов испытаний путем сравнения с нормативными значениями модуля упругости древесины хвойных пород. Для нормирования прочностных и деформационных характеристик древесины результаты испытаний образцов разной влажности приводят к стандартной влажности 12 % по следующей формуле:

$$E_{12} = \frac{E_w}{1\alpha(W \cdot 12)},$$

где для изгибаемых элементов  $\alpha = 0,04$ .

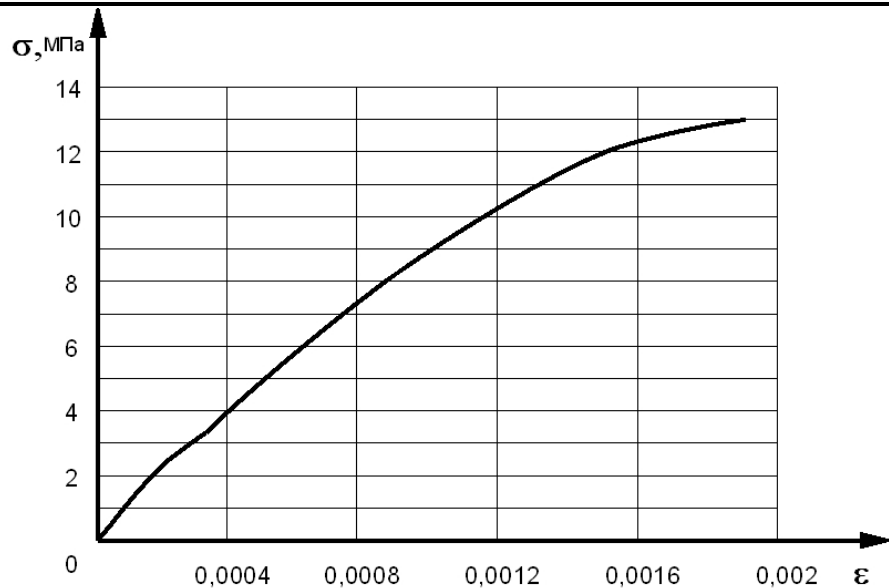


Рис. 2. Связь между полными относительными деформациями образцов и уровнем напряжений

У нашего образца влажностью 6 %, максимальное напряжение в котором при испытании было 13,0 МПа, т. е. равно расчетному сопротивлению древесины, модуль упругости в момент нагружения составил  $\frac{13,0}{0,00093} = 13\,978,0$  МПа. Пересчитаем на стандартную влажность:

$$E_{12} = \frac{13\,978,0}{1 \cdot 0,04(6 \cdot 12)} = 11\,273,0 \text{ МПа.}$$

Таким образом, значение модуля упругости образца близко к нормативному значению кратковременного модуля упругости, равному 10 000 МПа.

Для этого образца получена аналогичная картина и с длительным модулем упругости, который по истечении шести месяцев составил  $\frac{13,0}{0,00191} = 6\,806$  МПа. Приведем его к стандартной влажности:

$$E_{12} = \frac{6\,806,0}{1 \cdot 0,04(6 \cdot 12)} = 5\,488,0 \text{ МПа.}$$

Тогда, если привести к влажности 15 %, как рекомендуют авторы [4] и [11], длительный модуль упругости образца будет равен 5 000,0 МПа. Эти результаты показывают достаточно близкую сходимость с нормативным значением длительного модуля упругости, равного 300R (4 000,0 МПа), которое принимают для расчета деревянных элементов по деформированной схеме и на устойчивость, т. е. практически для всех деревянных конструкций за исключением балок.

Выполненные эксперименты подтвердили влияние уровня напряжений на рост ползучести древесины. Ползучесть при малых уровнях напряжений незначительна и, по-видимому, при расчетах может не учитываться. Для окончательных выводов необходимо провести системные испытания большого количества образцов при разных уровнях напряжений в условиях обеспечения стабильной влажности древесины в течение всего времени испытаний. Полученная аппроксимирующая зависимость при разных уровнях влажности древесины позволит производить расчеты деревянных конструкций на более высоком теоретическом уровне.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балтрушайтис А.В. Прочность и стойкость деревянных клееных конструкций с различной толщиной слоев: дис. ... канд. техн. наук. М., 1986. 182 с.
2. Белянкин Ф.П. Длительное сопротивление древесины. М.: Стройиздат, 1934. 345 с.
3. Зубарев Г.Н. Разработка и исследования клееных конструкций для покрытий промышленных зданий: дис. ... канд. техн. наук. М., 1954. 202 с.
4. Иванов Ю.М. К методике определения деформаций деревянных конструкций в покрытиях зданий// Строительство. 1990. № 6. С. 107–109.
5. Иванов Ю.М. О предельных состояниях деревянных элементов, соединений и конструкций. М.: Стройиздат, 1947. 280 с.
6. Иванов А.М. Прикладная теория ползучести древесины: сб. науч. тр. Воронеж: ВоронежИСИ, 1957. № 6. 87 с.
7. Клименко В.З. Феноменологический подход к расчету сжато-изгибаемых деревянных элементов//Строительная механика и расчет сооружений. 2011. № 1. С. 7–11.
8. Линьков Н.В. Несущая способность и деформативность соединений деревянных конструкций композиционным материалом на основе матрицы и стеклоткани: дис. ... канд. техн. наук. МГСУ, 2010. 154 с.
9. Пятикрестовский К.П. К вопросу о выборе модулей упругости при расчете деревянных конструкций на прочность, устойчивость и по деформациям//Строительная механика и расчет сооружений. 2012. № 6. С. 73–79.
10. Рощина С.И. Прочность и деформативность клееных армированных конструкций при длительном действии нагрузки: дис. .... д-ра техн. наук. Владимир, 2009. 259 с.
11. Цепяев В.А. Оценка модуля упругости древесины конструкций//Жилищное строительство. 2003. № 2. С.11–13.

Поступила 22.05.15

UDC 691.11

#### Effects of Stress Level on Wood Creep under Bending

*D.K. Arleninov, Doctor of Engineering Sciences, Professor*

*D.A. Bekker, Head of Laboratory*

Moscow State University of Civil Engineering, 26, Yaroslavskoye Shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail: dkarleninov@mail.ru; vonbeck@mail.ru

The stress level in the structure largely influences on the rate of wood creep under the steady load. Previously deformation properties were investigated in a lesser extent, in the stage of nonlinear creep. Therefore, there are no experimental data of long-term tests at low stress levels, allowing us to obtain the “stress – strain” dependence. The purpose of the experimental studies is to obtain the quantitative estimates of wood creep, expressed in total (elastic and residual) strain at the design stress levels of various rates. Long-term tests of four spruce samples, sawn from one board, were carried out in the mode of “bending” at different stress levels of 2 uA ... 13 uA. The tests were carried out in a dry and warm room under the stable thermal and moist conditions. Samples moisture content during the tests was 6 %. The test validity, reduced to 12 % of moisture by the known formulas, was estimated by comparing the calculated values of short-term and long-term modulus of elasticity and the standard values. The study results confirmed the prerequisite about the impact of the stress level on the value and period of the creep process. At low levels of normal stress the creep attenuation in the midspan occurred within the first month. At stresses close to the calculated resistance the creep attenuation in the samples occurred in six months. During the seventh month the increase of deflection was not observed. According to the measurements of deflections at the test period the actual values of total strains were calculated. These values were used for “total strain – hold time” plotting for each sample. These graphs were the basis of the presented in the paper dependence “stress – total strain”, which can be used to determine the modulus of deformation. It is concluded, that for the construction of reliable empirical dependence and further approximation it is necessary to continue the research by increasing the number of samples and the range of stress levels.

*Keywords:* wood creep, steady load, modulus of elasticity, strain.

#### REFERENCES

1. Baltrushaytis A.V. *Prochnost' i stoykost' derevyannykh kleennykh konstruksiy s razlichnoy tolshchinoy sloev*: dis. kand. tekhn. nauk [Strength and Resistance of Wooden Glued Structures with Different Thickness of Layers: Cand. Eng. Sci. Diss.]. Moscow, 1986. 182 p.
2. Belyankin F.P. *Dlitel'noe soprotivlenie drevesiny* [Continuous Resistance of Wood]. Moscow, 1934. 345 p.
3. Zubarev G.N. *Razrabotka i issledovaniya kleennykh konstruksiy dlya pokrytiy promyshlennykh zdaniy*: dis. ... kand. tekhn. nauk [Development and Research of Glued Structures for Industrial Buildings Coating: Cand. Eng. Sci. Diss.]. Moscow, 1954. 202 p.
4. Ivanov Yu.M. K metodike opredeleniya deformatsiy derevyannykh konstruksiy v pokrytiyakh zdaniy [To the Technique of Strain Definition of Wooden Structures in the Building Covering]. *Izvestiya VUZov. Stroitel'stvo* [News of Higher Educational Institutions. Construction], 1990, no. 6, pp. 107–109.
5. Ivanov Yu.M. *O predel'nykh sostoyaniyakh derevyannykh elementov, soedineniy i konstruksiy* [On Limit States of Wooden Elements, Compounds and Constructions]. Moscow, 1947. 280 p.
6. Ivanov A.M. Prikladnaya teoriya polzuchesti drevesiny [Applied Theory of Wood Creep]. *Sbornik nauchnykh trudov Voronezhskogo ISI* [Proc. Civil Engineering Institute of Voronezh], 1957, no. 6. 87 p.

7. Klimenko V.Z. Fenomenologicheskiy podkhod k raschetu szhato-izgibaemykh derevyannykh elementov [Phenomenological Approach to the Calculation of Beam Wooden Column]. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy*, 2011, no. 1, pp. 7–11.

8. Lin'kov N.V. *Nesushchaya sposobnost' i deformativnost' soedineniy derevyannykh konstruktsiy kompozitsionnym materialom na osnove m atritsy i steklotkani*: dis. ... kand. tekhn. nauk [Load Bearing Capacity and Deformability of Joints of Wooden Structures by Composite Materials on the Basis of Matrix and Fiberglass: Cand. Eng. Sci. Diss.]. Moscow, 2010. 154 p.

9. Pyatikrestovskiy K.P. K voprosu o vybore moduley uprugosti pri raschete derevyannykh konstruktsiy na prochnost', ustoychivost' i po deformatsiyam [On the Selection of the Elastic Moduli in the Calculation of Timber Structures for Strength, Stability and Deformation]. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy*, 2012, no. 6, pp. 73–79.

10. Roshchina S.I. *Prochnost' i deformativnost' kleenykh armirovannykh konstruktsiy pri dlitel'nom deystvii nagruzki*: dis. ... dokt. tekhn. nauk [Strength and Deformability of Glued Reinforced Structures under Long-Term Loads: Doc. Eng. Sci. Diss.]. Vladimir, 2009. 259 p.

11. Tsepaev V.A. Otsenka modulya uprugosti drevesiny konstruktsiy [Evaluation of the Modulus of Elasticity of Wooden Structures]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo* [Housing Construction], 2003, no. 2, pp. 11–13.

Received on May 22, 2015

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2015.6.128

---



## ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 676.054.2

**ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ПРОМЫВКИ СУЛЬФИТНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ В ПРОМЫШЛЕННЫХ УСЛОВИЯХ**© *М.И. Кравченко, канд. техн. наук, доц.*

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, Институтский пер., 5, Санкт-Петербург, Россия, 194021; e-mail: tak-mashovaolga@mail.ru

В статье приведен анализ нестабильности процессов отбора отработанных сульфитных щелоков после варки на стадии промывки целлюлозы в варочных котлах периодического действия объемом  $320 \text{ м}^3$ . Изучена кинетика промывки сульфитной целлюлозы методом вытеснения в варочных котлах. Показана теоретическая возможность определения констант промывки целлюлозы при высокой температуре и давлении. Для стабилизации и повышения эффективности высокотемпературной промывки целлюлозы необходимо использовать гидрораспределители для промывной жидкости, повышенную температуру вытесняющей жидкости и избыточное давление в котле, превышающее давление при конечной сдвиге при варке целлюлозы. На основании кинетики промывки сульфитной целлюлозы сделан вывод о двух периодах промывки: первый протекает во внешнедиффузионной области, второй – во внутридиффузионной области. Для повышения эффективности высокотемпературной промывки целлюлозы в варочных промышленных котлах объемом  $320 \text{ м}^3$  предложено устанавливать гидрораспределители для промывной жидкости, осуществлять медленную регулируемую закачку промывной жидкости в котел с повышенной температурой. При производстве сульфитной целлюлозы средней жесткости гидравлическое давление в варочном котле необходимо поддерживать в пределах  $(4,5 \dots 6,0) \cdot 10^5 \text{ Па}$  во время отбора крепкого щелока из котла. Для мягких сульфитных целлюлоз гидравлическое давление в котле снижают до  $(2,5 \dots 3,0) \cdot 10^5 \text{ Па}$ . Изучение кинетики промывки проведено в варочных котлах, оборудованных гидрораспределителями с регулируемой закачкой промывной жидкости и гидравлическом давлении не более  $3,0 \cdot 10^5 \text{ Па}$ . Щелок в варочных котлах отбирали при повышенной температуре и гидравлическом давлении, что позволило значительно повысить эффективность промывки. Так, концентрация сухих веществ, идущих на выпарку, повысилась на  $1 \dots 3 \%$ , что позволило снизить энергозатраты на  $0,13 \text{ Гкал}$  при выработке жидких лигносульфонатов, в два раза уменьшились выбросы диоксида серы в атмосферу, значительно улучшились промстоки от варочно-промывочного цеха по биохимическому и химическому потреблению кислорода.

*Ключевые слова:* процесс промывки целлюлозы, варочный котел, гидрораспределители для промывной жидкости, отработанный щелок, гидравлическое давление, процесс фильтрации, константы промывки, внешняя и внутренняя диффузия, лигносульфонаты, промстоки, энергозатраты, отбелка целлюлозы, жесткость целлюлозы.

Сульфит-целлюлозные предприятия в настоящее время испытывают большие трудности при решении экологических проблем, связанных с избыточным расходом химикатов, тепла и свежей воды на 1 т вырабатываемой продукции. Из-за отсутствия достаточных инвестиционных средств предприятия вынуждены совершенствовать и улучшать технологическое обеспечение процессов варки и промывки целлюлозы на существующем оборудовании. Для периодических процессов варки и промывки целлюлозы таким оборудованием являются варочные биметаллические котлы, изготавливаемые отечественными машиностроителями. При производстве сульфитной целлюлозы, как правило, первая ступень промывки целлюлозы осуществляется в варочных котлах методом вытеснения отработанного щелока более слабым.

На одном из сульфитных предприятий проведен анализ системы промывки целлюлозы в варочных котлах и сцежах.

На рис. 1 и 2 показана динамика изменения химического потребления кислорода (ХПК) стоков, взвешенных веществ и количества отбираемого отработанного щелока на регенерацию в течение 15 сут работы варочно-промывного цеха при 10 котловарках в сутки.

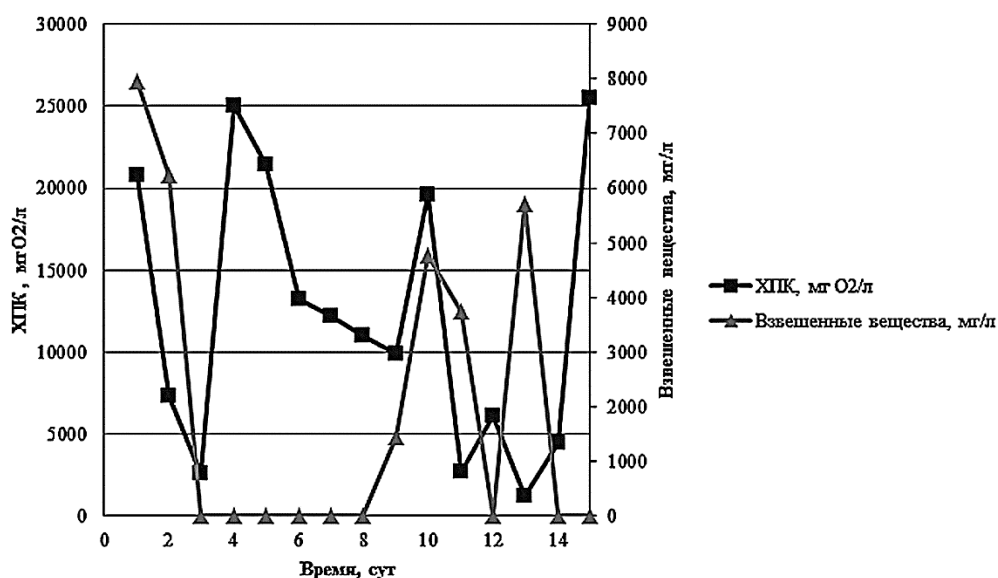


Рис. 1. Динамика изменения ХПК и содержание взвешенных веществ в стоках варочно-промывного цеха в течение 15 сут при 10 котловарках в сутки

В щелоке, отбираемом из варочного котла, определены концентрация редуцирующих веществ (РВ), плотность и объем щелока, остаточное содержание диоксида серы. Результаты исследований сведены в таблицу.

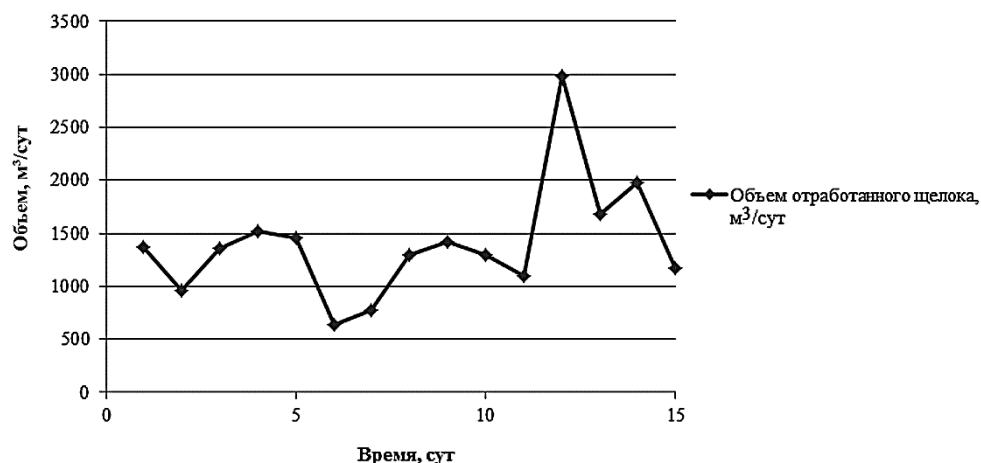


Рис. 2. Объем отбираемого щелока на регенерацию из варочных котлов в течение 15 сут при 10 котловарках в сутки

#### Характеристика щелока и сточных вод, образующихся в варочно-промывном цехе

Время, сут	Общий сток		Содержание общего SO <sub>2</sub> в щелоке, %	Плотность щелока, г/см <sup>3</sup>	Редуцирующие вещества, %	Окисляемость промывной целлюлозы, мг O <sub>2</sub> /л	Объем отработанного щелока, м <sup>3</sup> /сут
	Взвешенные вещества, мг/л	ХПК, мг O <sub>2</sub> /л					
1	7 960	20 800	0,066	1,039	1,79	182	1370
2	6 250	7 300	0,050	1,033	1,58	186	965
3	–	2 600	0,062	1,035	1,62	189	1354
4	–	25 000	0,045	1,036	1,93	171	1517
5	–	21 400	0,064	1,037	1,68	176	1463
6	–	13 200	0,112	1,037	1,31	162	643
7	–	12 200	0,061	1,038	1,37	161	775
8	–	11 000	0,048	1,043	0,94	146	1301
9	1 450	9 900	0,061	1,042	1,80	188	1423
10	4 760	19 600	0,035	1,036	1,59	166	1300
11	3 760	2 700	0,054	1,038	1,82	200	1101
12	–	6 150	0,048	1,028	1,20	168	2989
13	5 700	1 200	0,038	1,036	1,91	182	1677
14	–	4 500	0,042	1,031	1,55	182	1980
15	–	25 500	0,035	1,042	2,05	189	1178

Из приведенных в таблице данных видно, что объем отбираемого крепкого щелока, который направляется на дальнейшую переработку, при одинаковой производительности по варке значительно колеблется (от 600 до 1800 м<sup>3</sup>/сут).

Возникает вопрос, почему наблюдается такая неравномерность по объему отобранного из варочных котлов щелока и объему стоков от промывки целлюлозы в варочных котлах и сцехах.



Можно выделить несколько основных причин неравномерного отбора крепких щелоков при вытеснительной промывке в варочных котлах.

Процесс вытеснения отработанного щелока из варочного котла после варки и конечной газовой сдувки можно рассматривать как процесс фильтрации промывной жидкости через достаточно высокий слой целлюлозной суспензии [1]. При этом подачу промывной жидкости осуществляют насосами в нижнюю или верхнюю горловину варочного котла. Как правило, гидронадавливание при этом не осуществляют. Поэтому движущая сила процесса фильтрации  $\Delta p$  значительно меньше, чем осмотическое давление внутри клеточной структуры целлюлозы после варки древесной щепы. В результате более 50 % отработанного щелока при таком вытеснении остается внутри волокнистой структуры целлюлозы. На практике для вытеснения отработанного щелока используют гидрораспределители – гидромониторы, устанавливаемые в нижней горловине варочных котлов [2], при этом до процесса гидронадавливания осуществляется регулируемая закачка промывной жидкости [3].

При нерегулируемой закачке холодной промывной жидкости на вытеснение в варочные котлы наблюдается снижение концентрации отработанного щелока и его температуры уже на 10...15-й минуте от начала подачи промывной жидкости в котел. Это обстоятельство для варщика-оператора служит сигналом для прекращения отбора крепкого щелока, т. е. его объем уменьшается.

Другой причиной сокращения объема отбираемого щелока является подпрессовка осадка на фильтрующей поверхности отборочных сит, установленных внутри варочного котла, из-за несоблюдения оптимального режима фильтрования при выработке целлюлозы различной жесткости.

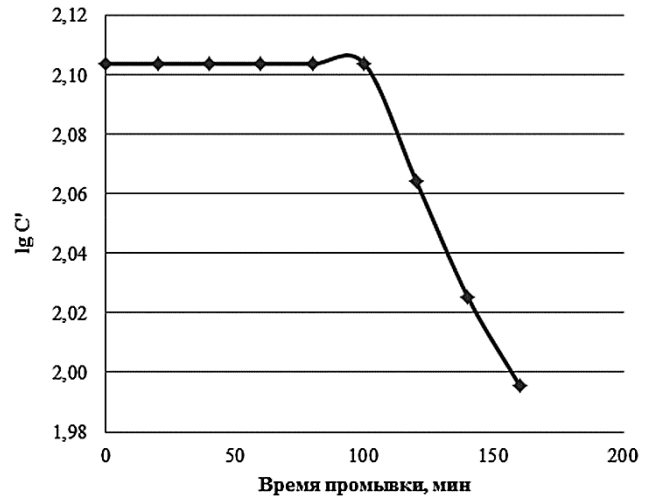
Неравномерность процесса отбора отработанных щелоков после варки отрицательно влияет на технико-экономические показатели работы предприятия и на экологическую безопасность окружающей среды.

Высокотемпературная диффузионная промывка в периодических варочных котлах под избыточным давлением является, на наш взгляд, технологией будущего и требует разностороннего изучения и освоения в промышленности. Например, с помощью высокотемпературной диффузионной промывки в котлах можно регулировать жесткость и белизну целлюлозы после варки и переходить на короткие схемы отбелки целлюлозы с использованием экологически безопасных отбельных реагентов, таких как перекись водорода и др.

Механизм высокотемпературной промывки целлюлозы под избыточным давлением в варочных котлах до настоящего времени был недостаточно изучен.

Нашими исследованиями, проведенными в промышленных условиях, установлено, что использование гидрораспределителей для промывной жидкости в нижней горловине варочного котла и создание определенного давления при вытеснении щелока обеспечивает полноту отбора крепкого щелока после варки, время отбора щелока составляет от 1,0 до 1,5 ч.

Рис. 3. График процесса промывки сульфитной целлюлозы в котлах объемом 320 м<sup>3</sup>



На рис. 3 представлено графическое изображение процесса промывки сульфитной целлюлозы в котлах объемом 320 м<sup>3</sup> после установки в них гидрораспределителей, что можно использовать для интерпретации этого процесса и нахождения констант промывки. На линии отбора крепкого щелока были взяты пробы вытесненного щелока и проанализированы на содержание сухих веществ, в то же время зафиксированы расход отбираемого щелока, расход промывной воды, температура и давление в варочном котле. Вытеснение отработанного щелока осуществлено в рамках существующего технологического регламента, при этом температура отработанного щелока изменялась от 120 до 90 °С при начальной температуре вытесняющей жидкости не более 20 °С.

Исходя из предположения, что в любой момент времени концентрация растворенных веществ в промывной жидкости пропорциональна концентрации этого вещества в осадке (т. е. в целлюлозе), можно установить зависимость величины  $n'$  (рис. 3), равной тангенсу угла наклона логарифма концентрации отбираемого щелока [3]. Коэффициент промывки в этом случае можно определить по следующей формуле:

$$K'_n = \frac{n'h_{oc}}{W_n}, \quad (1)$$

где  $K'_n$  — константа промывки, зависящая от свойств осадка, фильтрата, промывной жидкости, высоты осадка и скорости промывной жидкости;

$h_{oc}$  — высота осадка, образующегося на фильтрующей поверхности варочного котла, м;

$W_n$  — скорость движения вытесняющей (промывной) жидкости, м/с.

Как видно из рис. 3, процесс промывки целлюлозы в варочных котлах протекает в две стадии (в два периода). На первой стадии продолжительностью  $\tau'_n$  концентрация растворенного вещества в промывной жидкости постоянна и равна концентрации этого вещества в фильтрате ( $C_0$ ). Температура

отбираемого щелока в этом периоде промывки тоже постоянна и примерно равна конечной температуре варки. Средний расход промывной жидкости составляет не более 2,2 м<sup>3</sup>/мин. На второй стадии концентрация растворенного вещества в отбираемом щелоке непрерывно и закономерно уменьшается, также закономерно снижается и температура отбираемого щелока. Если отложить на оси ординат (рис. 3) температуру отбираемого щелока, то температурный график совпадет с концентрационным и покажет два периода процесса промывки целлюлозы. Подобная зависимость характерна для всех вырабатываемых видов целлюлозы, независимо от способа их производства.

Процесс вытеснительной высокотемпературной промывки целлюлозосодержащих материалов подобен процессу сушки материалов – капиллярно-пористых коллоидных тел. При промывке и сушке происходят тепломассообменные процессы, для описания которых используется сложная система дифференциальных уравнений тепломассообмена и уравнений движения.

Процесс промывки целлюлозного материала протекает в две стадии (два периода). Так как первый период сушки относят к внешнедиффузионным процессам, то по аналогии с ним первый период промывки целлюлозосодержащего материала также можно назвать внешнедиффузионным процессом, второй – внутридиффузионным, когда процесс извлечения растворимых веществ затрудняется из-за снижения температуры промывки, увеличения внутридиффузионного сопротивления массопереносу и некоторых фазовых переходов растворенных веществ. Уравнение для второго периода промывки:

$$n' = \frac{\lg C_0 - \lg C_k}{\tau_{\Pi} - \tau'_{\Pi}}, \quad (2)$$

где  $\lg C_0$  – логарифм начальной концентрации сухих веществ ( $C_0$ , г/л) в первом периоде;

$\lg C_k$  – логарифм конечной концентрации сухих веществ ( $C_k$ , г/л) во втором периоде;

$\tau'_{\Pi}$  – время промывки в первом периоде, мин;

$\tau_{\Pi}$  – общее время промывки, мин.

При промывке целлюлозы в варочных котлах константа промывки  $K'_{\Pi}$  зависит от скорости промывной жидкости, высоты и структуры осадка.

Из уравнения (1) видно, что чем меньше скорость закачки промывной жидкости на вытеснение, тем меньше константа промывки целлюлозы.

Первый период промывки лишь условно был назван внешнедиффузионным процессом по аналогии с сушкой. На самом деле при повышенном гидравлическом давлении в котле и температуре более 100 °С продолжительность этого периода может быть значительно увеличена за счет внутридиффузионного массопереноса растворенных веществ, второй период за счет этого будет значительно сокращен. На практике вторую ступень промывки целлюлозы в варочных котлах не осуществляют. Целлюлозную суспензию после первой ступени промывки в котле выгружают в вымывные резервуары, а ее домывку осуществляют на различном промывном оборудовании.

Увеличение продолжительности первого периода промывки целлюлозы в варочных котлах способствует повышению эффективности отбора крепкого

отработанного щелока и улучшает экологическую безопасность существующих производств и их технико-экологические показатели. Высокотемпературная диффузионная промывка в варочных котлах при производстве любых видов целлюлозы способна значительно сократить смоляные затруднения, улучшить качество получаемой целлюлозы, уменьшить расходы промывной воды, электроэнергии, пара и отбельных химикатов на 1 т вырабатываемой продукции.

#### *Выводы*

1. Анализ процесса промывки в варочных котлах при производстве сульфитной целлюлозы показал нестабильность процесса отбора крепкого щелока в варочных котлах.
2. Для стабилизации процесса отбора крепкого щелока в варочных котлах необходимо установить гидрораспределители для промывной жидкости.
3. Высокотемпературную промывку целлюлозы в варочных котлах необходимо проводить под избыточным гидравлическим давлением.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жужиков В.А. Фильтрация. Теория и практика разделения суспензий. М.: Химия, 1980. 400 с.
2. Кравченко М.И., Киприанов А.И. Механизм процесса промывки сульфатной целлюлозы в слое//Целлюлоза. Бумага. Картон. № 9-10. С. 36–37.
3. Кравченко М.И. Совершенствование процесса промывки целлюлозы в промышленных условиях//Материалы междунар. науч.-практ. конф. «Лучшее в технологии, оборудовании и экологии при производстве целлюлозы и других волокнистых полуфабрикатов». СПб.: НТО Бумдревпром, 2010.

Поступила 19.01.15

UDC 676.054.2

#### **Study of Sulfite Pulp Washing Process under Industrial Conditions**

*M.I. Kravchenko, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor*  
Saint Petersburg State Forest Technical University under name of S.M. Kirov, Institutskiy per., 5, Saint Petersburg, 194021, Russian Federation; e-mail: takmashovaolga@mail.ru

Instability of spent sulfite liquor extraction processes after the cooking at the stage of pulp washing in batch cooking digesters of 320 m<sup>3</sup> capacity was analyzed. Displacement washing kinetics of sulfite pulp in cooking digesters was studied. Theoretical feasibility of washing constants determination at high temperature and pressure was found. For stabilizing high-temperature washing of pulp and enhancing its efficiency it is recommended to install the hydraulic distributors (hydromonitors) of washing liquor, to apply increased temperature of displacement liquor and excess pressure in the digesters that has to be higher than final relief pressure at cooking. The kinetics results enabled to make a conclusion about two-stage washing process, running in the out-diffusion area at the first stage and at the second –

in internal (pore) diffusion zone. The hydraulic distributors of washing liquor are proposed to install to increase high-temperature pulp washing efficiency in industrial cooking digesters of 320 m<sup>3</sup> capacity. It is also recommended to provide slow and regulated pumping of washing liquor into a higher-temperature digester. Hydraulic pressure in cooking digester during extraction of strong sulfite liquor out of digester at sulfite pulping for producing middle-hardness pulp should be remained within (4,5...6,0)10<sup>5</sup> Pa. For soft sulfite pulps hydraulic pressure should be decreased to (2,5...3,0)10<sup>5</sup> Pa. Pulp washing kinetics was studied for cooking digesters equipped with washing liquor distributors and controlled pumping of washing liquor into digester at hydraulic pressure no more than 3\*10<sup>5</sup> Pa. The liquor extraction in digesters under an elevated temperature and hydraulic pressure enabled improving considerably the washing efficiency in that process. Thus, concentration of evaporation dry solids increased by 1...3 %, which reduced energy consumption by 0.13 Gcal in the liquid lignosulfonate production. Sulfurous anhydride emissions dropped twice. COD and BOD in the effluents from the pulping-and-washing shop significantly improved.

*Keywords:* pulp washing, cooking digester, washing liquor distributors (hydromonitors), spent liquors, hydraulic pressure, filtration, washing constants, out-diffusion, internal (pore) diffusion, lignosulfonate, effluents, energy consumption, pulp bleaching, pulp hardness.

#### REFERENCES

1. Zhuzhikov V.A. *Fil'tratsiya. Teoriya i praktika razdeleniya suspenziy* [Filtration. Theory and Practice of Separating Suspensions]. Moscow, 1980. 400 p.
2. Kravchenko M.I., Kiprianov A.I. Mekhanizm protsessa promyvki sul'fatnoy tsellyulozy v sloe [The Mechanism of the Cleaning Process in the Sulphite Pulp Layer]. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton* [Pulp. Paper. Board], 2000, no. 9–10, pp. 36–37
3. Kravchenko M.I. Sovershenstvovanie protsessa promyvki tsellyulozy v promyshlennykh usloviyakh [Improving the Pulp Washing Process in an Industrial Environment]. *Mezhdunar. nauch.-prak. konf. "Luchshee v tekhnologii, oborudovanii i ekologii pri proizvodstve tsellyulozy i drugikh voloknistykh polufabrikatov"*. *Sb. materialov* [Proc. of the Int. Sci. and Practical Conf. "The Best in the Technology, Equipment and Environment in the Production of Cellulose and Other Fibrous Semis]. Saint Petersburg, 2010.

Received on January 19, 2015

DOI:10.17238/issn0536-1036.2015.6.138

---

УДК 541.183:661.185.1

## АДСОРБЦИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ЛИГНОСУЛЬФОНАТОВ НА ОБРАЗЦАХ ГИДРАТИРОВАННОГО ОКСИДА АЛЮМИНИЯ

© А.А. Комиссаренков<sup>1</sup>, канд. хим. наук  
Р.А. Копнина<sup>1</sup>, асп.

А.А. Поздняков<sup>2</sup>, зам. ген. дир-ра

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров, ул. Ивана Черных, 4, Санкт-Петербург, Россия, 198095; e-mail: komaa@yandex.ru

<sup>2</sup>Группа «Илим», ул. Мира, г. Братск-18, Иркутская область, Россия, 665718

В работе рассмотрен вопрос взаимодействия технических лигносульфонатов с гидратированным оксидом алюминия и его формой, содержащей аминоэпихлоргидринную смолу Водамин-115. Сорбцию проводили в статических условиях при изменяющихся параметрах проведения реакции (время; рН; концентрация лигносульфонатов; масса сорбента; добавки, способные взаимодействовать с лигносульфонатами с образованием полиэлектролитных комплексов). Процесс сорбции контролировали по изменению значений рН, концентрации лигносульфонатов и ионов алюминия фотометрическим и комплексонометрическим методами. Показано, что лигносульфонаты взаимодействуют с оксидом алюминия и его модифицированными формами при широком варьировании условий сорбции с образованием моно- и полимолекулярных слоев лигносульфонатов на поверхности сорбента. На примере добавок катионного полиэлектролита, способного образовывать полиэлектролитные комплексы с лигносульфонатами, показано увеличение сорбционных свойств оксида алюминия, как и в случае добавки соли алюминия, что указывает на преимущество адсорбции лигносульфонатов в составе комплекса с ионами алюминия. Поверхностный слой осажденного лигносульфоната проницаем для ионов алюминия, образующихся при растворении матрицы сорбента, что обеспечивает условия образования комплекса с алюминием и его дальнейшего осаждения.

*Ключевые слова:* лигносульфонаты, сорбция, активный оксид алюминия.

### *Введение*

Лигносульфонаты технические (ЛСТ), являясь вторичными продуктами производства целлюлозы сульфитным способом, обладают уникальными свойствами [1] и используются как сырье или реагенты для ряда отраслей промышленности (пластификаторы, диспергаторы, стабилизаторы, смачиватели, поверхностно-активные добавки) [3], а также применяются в качестве альтернативного топлива с одновременной регенерацией реагентов для процесса делигнификации [5].

Реакционная способность ЛСТ рассматривается как с точки зрения регулирования свойств многих композиционных составов, растворов и суспензий различного назначения, образования полиэлектролитных комплексов, в том числе в качестве добавки в бумажной массе [7], так и их сорбционного удаления из технологических растворов и сточных вод [8].

При использовании каолина в реакциях взаимодействия с ЛСТ активной формой сорбента может служить льюисовский кислотный центр, связанный с наличием гидроксила у атома алюминия. Сорбционные свойства такого сорбента обусловлены атомным соотношением Al/Si [4], увеличение которого приводит к формированию центров с пониженной кислотностью, а затем участков поверхности оксида алюминия ( $Al_2O_3$ ), проявляющей основные свойства. При изменении указанного соотношения Al/Si путем активации каолина с получением алюминий-каолинита [6] возникает специфическая адсорбция лигнинных веществ такими сорбентами [8].

Задача работы – оценка механизма взаимодействия ЛСТ с  $Al_2O_3$  для использования полученных данных в практике доочистки воды, а также возможного их применения в технологических процессах ЦБП.

#### *Экспериментальная часть*

В эксперименте использовали порошковый ЛСТ ОАО «Выборгская целлюлоза». Оксид алюминия торговой марки А-1 после размола, отмучивания и классификации применяли в виде гранул размером 0,2...0,4 мм. Навеска  $Al_2O_3$  составляла 1,00 г, объем раствора ЛСТ – 50 см<sup>3</sup>, продолжительность взаимодействия – 1...24 ч. Значение рН водных растворов ЛСТ устанавливали от 3,10 до 10,05 на приборе «рН-340».

Сорбцию ЛСТ проводили в статических условиях на  $Al_2O_3$  модифицированием аминоэпихлоргидринной смолой торговой марки Водамин-115 (В-115). Оксид алюминия модифицировали путем обработки водным раствором В-115 концентрацией 10 мг/дм<sup>3</sup> в статических условиях в течение 1 ч при перемешивании с последующей промывкой водой и сушкой на воздухе.

Лигносультфонаты анализировали фотометрически с использованием реактива Фолина–Дениса [9].

Концентрацию ионов алюминия в растворах определяли прямым комплексометрическим титрованием со смешанным индикатором медь-ЭДТА-ПАН (пиридил-азо-нафтол) индикатором [14], а также фотометрическим методом с использованием в качестве красителя стильбазо [11].

Концентрацию смолы В-115, используемой в качестве модифицирующего реагента, определяли фотометрически с применением медно-эозинового комплекса в среде цитратного буфера [12].

#### *Обсуждение результатов*

Влияние рН водных растворов ЛСТ на взаимодействие с  $Al_2O_3$  изучали при концентрации сорбата, равной 1200 мг/дм<sup>3</sup>, гидромодуле 50 в течение 1 ч. Начальные значения рН ( $pH_n$ ) растворов ЛСТ изменялись от 3,10 до 10,05.

При изменяющихся значениях  $pH_n$  сорбция ЛСТ оставалась практически постоянной и равной (20,0±5,0) мг/г. Это обстоятельство может быть связано с тем, что значения рН равновесных растворов ( $pH_p$ ) находились вблизи нейтральной области, за исключением крайних точек зависимости (рис. 1).

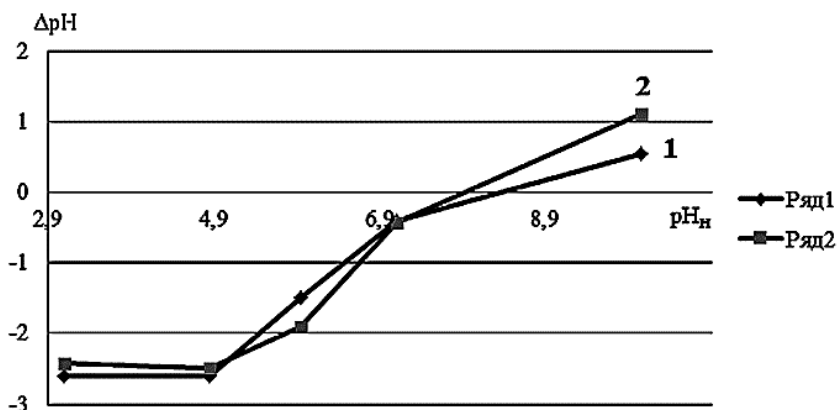


Рис. 1. Изменение pH растворов ЛСТ ( $\Delta\text{pH}$ ) при сорбции на немодифицированном (1) и модифицированном с помощью В-115 (2)  $\text{Al}_2\text{O}_3$  по сравнению с начальными значениями ( $\text{pH}_н$ )

Линия изменения pH до и после сорбции (рис.1, линия 1) пересекает абсциссу  $\text{pH}_н$  в точке, близкой к точке нулевого заряда (ТНЗ)  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , что указывает на различный механизм поглощения ЛСТ сорбентом.

Сорбция ЛСТ из растворов со значениями pH до ТНЗ характеризуется подщелачиванием реакционной среды и, вероятно, обусловлена анионообменными процессами. Снижение значений pH растворов ЛСТ и, соответственно его концентрации при взаимодействии с  $\text{Al}_2\text{O}_3$  из щелочных сред, может быть связано с процессом скрытой коагуляции ЛСТ [2] на контактной поверхности.

Модифицированный полиамином  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , содержащий 1,9 мг/г сорбента В-115, проявляет меньшую активность относительно ЛСТ в тех же условиях сорбции, несмотря на созданные дополнительные условия для взаимодействия ЛСТ с В-115, обладающего основными свойствами. Сорбция ЛСТ в нейтральной области  $\text{pH}_р$  составляла  $(5,0 \pm 1,5)$  мг/г, в крайних точках зависимости – 15...10 мг/г.

Значения pH растворов до и после сорбции ( $\Delta\text{pH}$ ) изменялись также разнополюсно в зависимости от значений  $\text{pH}_н$ . Линия 2 (рис. 1) пересекает абсциссу  $\text{pH}_н$  в области, близкой к ТНЗ для  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Это может указывать на участие не занятой полиамином поверхности  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в процессе сорбции ЛСТ.

Катионоактивный полиэлектролит В-115 при адсорбции на  $\text{Al}_2\text{O}_3$  частично экранирует активные центры сорбента, ответственные за адсорбцию анионов, что является причиной снижения абсолютных значений сорбционной емкости без изменения механизма взаимодействия сорбента с ЛСТ. Активные функциональные группы полиамиона на поверхности сорбента не взаимодействуют с ЛСТ, вероятно, из-за стерических трудностей, вызванных плоским расположением молекулы на поверхности.



В то же время в случае адсорбции ЛСТ на модифицированной поверхности  $Al_2O_3$  могут протекать реакции комплексообразования ЛСТ с поверхностным полиэлектролитом до полиэлектролитного комплекса [15] за счет кооперативных взаимодействий.

Таким образом, влияние рН на сорбцию ЛСТ может быть связано с изменением состава молекулы ЛСТ и степени диссоциации слабоосновных функциональных групп  $Al_2O_3$ , что приводит к уменьшению сорбции полиэлектролита с увеличением рН.

Влияние времени (продолжительности) контакта  $T$  растворов ЛСТ с  $Al_2O_3$  на сорбцию полиэлектролита изучали при исходных значениях рН 3,0, где наблюдалась высокая сорбция ЛСТ, концентрация которого составила  $1200 \text{ мг/дм}^3$ . Сорбцию проводили в статических условиях при различной температуре: 20, 100 и  $180 \text{ }^\circ\text{C}$ . В последнем случае сорбцию осуществляли в автоклаве при гидромодуле 1:50. Остальные условия сорбции оставались неизменными.

Равновесные или близкие к нему величины сорбции достигаются за 8 ч при проведении реакции в нормальных условиях. Эти же значения сорбции ЛСТ, равные 30...35 мг/г сорбента, в случае сорбции при повышенной температуре достигаются за 4 ч (рис. 2). При этом поглощение ЛСТ при 100 и  $180 \text{ }^\circ\text{C}$  протекает практически одинаково и не имеет насыщения при данных условиях. Это обстоятельство может быть связано с процессом конденсации ЛСТ или осаждения алюминиевой соли ЛСТ, образующейся в растворе за счет частичного растворения сорбента.

Снижение скорости процесса поглощения ЛСТ при нормальной температуре сорбции может быть связано с увеличением рН до 5,8...6,4, при котором сорбция уменьшается, а также с уменьшением растворимости сорбента при этих условиях. Повышенные температуры сорбции приводят к росту рН растворов до 5,6...6,0, но при этом за счет увеличения растворимости  $Al_2O_3$ , по-видимому, не замедляется процесс образования алюминийлигносульфоната, который более сорбционно активен, чем лигносульфоновые соединения.

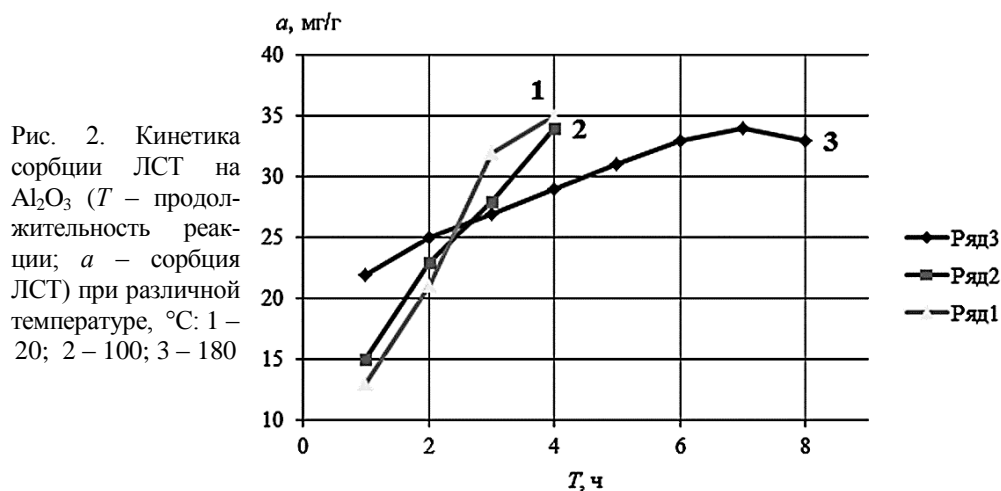


Рис. 2. Кинетика сорбции ЛСТ на  $Al_2O_3$  ( $T$  – продолжительность реакции;  $a$  – сорбция ЛСТ) при различной температуре,  $^\circ\text{C}$ : 1 – 20; 2 – 100; 3 – 180

Изотермы адсорбции ЛСТ на  $Al_2O_3$  снимали в тех же условиях, т. е. при значениях  $pH_n$  3,1, гидромодуле 50 за время контакта 1 сут. Концентрация ЛСТ изменялась от 6000 до 200  $mg/dm^3$ . Изотерма сорбции ЛСТ на  $Al_2O_3$  приведена на рис. 3, линия 1.

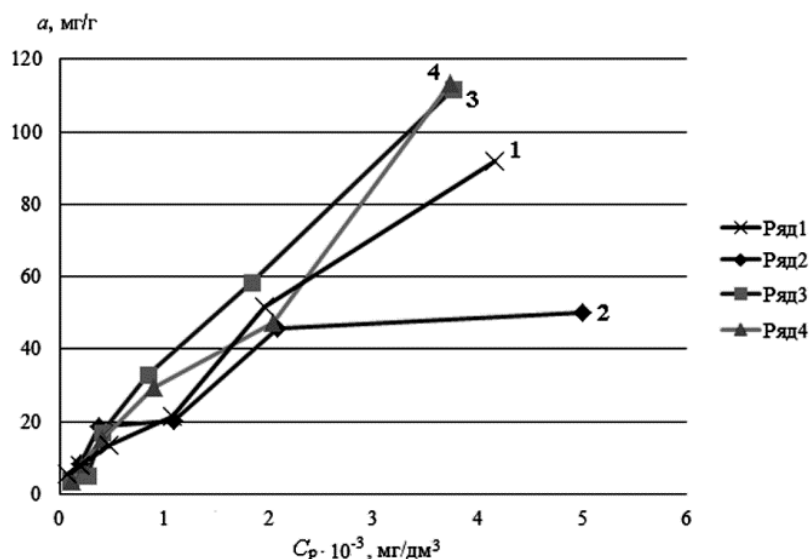
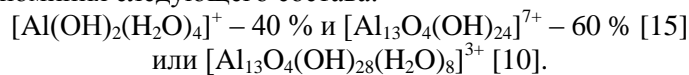


Рис. 3. Изотерма сорбции ЛСТ ( $C_p$  – концентрация ЛСТ) на  $Al_2O_3$ :  
1 – без добавки; 2 – с добавкой соли алюминия в количестве 10  $mg/dm^3$ ;  
3, 4 – с добавкой В-115 в количестве соответственно 10 и 30  $mg/dm^3$

Изотерма имеет ступенчатый вид с плато в районе 20  $mg/g$  сорбента и насыщение в районе 50  $mg/g$  сорбента.

Низкие значения концентраций ЛСТ в водном растворе обусловлены мономолекулярным заполнением поверхности  $Al_2O_3$  за счет анионообменного процесса адсорбции. По мере накопления ЛСТ в фазе сорбента с увеличением концентрации сорбата в растворе наблюдается симбатное увеличение  $pH$  равновесных растворов.

Изменение  $pH$  может привести к определенным изменениям в составе растворов ЛСТ. В кислом растворе ( $pH$  3,1) возможно частичное растворение  $Al_2O_3$  с появлением в растворе ионов  $Al^{3+}$ . Эти ионы способны образовывать с ЛСТ алюминийлигносульфонаты [13]. Подщелачивание алюминийсодержащего раствора ЛСТ может привести к образованию аква- и гидроксоформ соединений алюминия. Так, например при  $pH$  5,2 в растворе образуются соединения алюминия следующего состава:



В этом случае ЛСТ с катионами алюминия могут аналогично образовывать полиэлектролитные комплексы (ПЭК) [15].

Адсорбция таких ПЭК предпочтительнее других возможных соединений ЛСТ, о чем свидетельствуют изотермы поглощения ЛСТ в присутствии ионов алюминия (рис. 3, линия 2) и смолы В-115 (рис. 3, линии 3, 4).

Введение в раствор ЛСТ ионов алюминия в концентрации 10 мг/дм<sup>3</sup> резко изменяет изотерму сорбции, сохраняя при этом основные стадии процесса. Ионообменная стадия реализуется до значений сорбции 5 мг/г сорбента с образованием незначительного плато. При этом плато формируется при более низких значениях концентрации ЛСТ в растворе, вероятно, за счет образования сорбционно активной алюминиевой соли, о чем свидетельствует практически прямолинейный рост сорбции (рис. 3, линия 2) с увеличением равновесной концентрации ЛСТ.

Изотермы сорбции ЛСТ на Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в присутствии В-115 в растворе отличаются от изотермы сорбции без добавок полиэлектролита, но имеют общий вид с изотермой сорбции ЛСТ с добавкой соли алюминия.

Введение катионного полиэлектролита (КПЭ) в раствор, содержащий ЛСТ, приводит к образованию ПЭК различного состава, которые, по-видимому, обуславливают специфическую адсорбцию на поверхности сорбента. Условия существования КПЭ и ЛСТ в растворе снимают стерические затруднения к их взаимодействию, проявлявшиеся на Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, и обуславливают возможность образования соответствующих ПЭК. Мономолекулярная сорбция проявляется в разбавленных растворах ЛСТ, где образуются нестехиометрические хорошо растворимые в воде ПЭК с ЛСТ. Адсорбция из более концентрированных растворов приводит к образованию полимолекулярных слоев, так как на поверхность адсорбента переходят образовавшиеся в растворе вторичные структурные единицы, что подтверждается отсутствием насыщения в условиях эксперимента.

Изучение влияния концентрации сорбента (гидромодуля реакции) проводили при рН<sub>н</sub> 3,0. Концентрация ЛСТ составляла 3000 мг/дм<sup>3</sup>, время сорбции – 1 сут. Масса навесок сорбента изменялась от 0,25 до 10 г при постоянном объеме раствора 50 см<sup>3</sup>.

В этих же условиях эксперимента проводили сорбцию ЛСТ на модифицированном Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Модифицирование осуществляли путем обработки Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> раствором В-115 с последующим кондиционированием сорбента. Сорбция препарата составляла 0,2 мг/г Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Сорбция ЛСТ на Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> практически совпадает с сорбцией его формы, модифицированной катионным полиэлектролитом (рис. 4, линии 1, 2), что свидетельствует об идентичном механизме поглощения сорбата. При этом антибатно изменяются значения рН до и после взаимодействия с сорбентом.

Высокая концентрация сорбента не обеспечивает полного извлечения ЛСТ из растворов, что связано с резким подщелачиванием равновесных растворов ЛСТ, где сорбция замедляется в связи со снижением степени диссоциации слабоосновных групп сорбента.

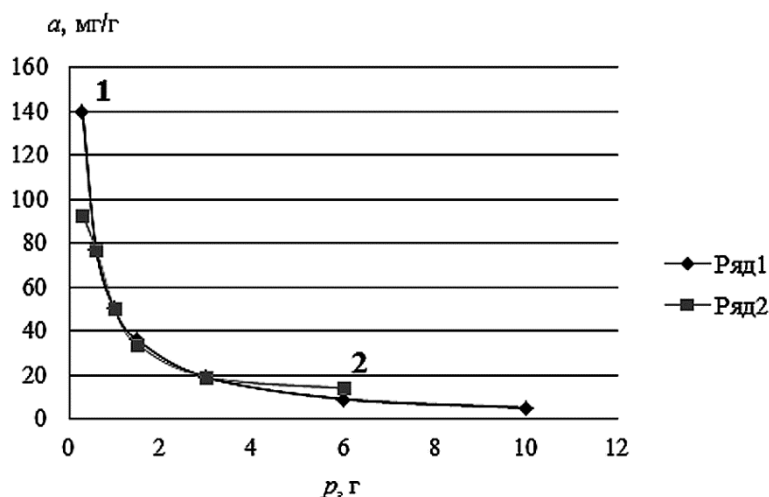


Рис. 4. Влияние массы ( $\rho$ ) немодифицированного (1) и модифицированного В-115 (2)  $\text{Al}_2\text{O}_3$  на сорбцию ЛСТ ( $\alpha$ )

Амфотерные свойства  $\text{Al}_2\text{O}_3$  позволяют рассматривать его как макрокатион или макроанион, способный к взаимодействию с анионным или, соответственно, катионным полиэлектролитом с образованием иммобилизованных форм этих веществ, которые можно определить в качестве поверхностных полиэлектролитных комплексов (ППЭК).

Влияние таких комплексных структур в составе  $\text{Al}_2\text{O}_3$  на сорбцию ЛСТ проверяли на образцах сорбентов, содержащих от 0,025 до 3,70 мг КПЭ/г  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Сорбцию проводили при исходных значениях рН 3,0; 4,6; 10,0.

Данные по сорбции ЛСТ на модифицированных образцах  $\text{Al}_2\text{O}_3$  приведены в таблице.

Из данных таблицы следует, что наличие катионного полиэлектролита в составе  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в виде ППЭК мало изменяет характер сорбции ЛСТ на сорбентах с разной степенью модифицирования.

**Влияние степени модифицирования поверхности  $\text{Al}_2\text{O}_3$  катионным полиэлектролитом на поглощение ЛСТ**

№ образца	Степень модифицирования поверхности $\text{Al}_2\text{O}_3$ катионным полиэлектролитом, мг КПЭ/г $\text{Al}_2\text{O}_3$	рН <sub>р</sub> при различных значениях рН <sub>исх</sub>			Поглощение ЛСТ, при различных значениях рН <sub>исх</sub>		
		3,0	4,9	10,0	3,0	4,9	10,0
1	3,70	5,96	7,25	8,90	42	3	5
2	1,90	5,82	7,20	9,06	43	11	17
3	0,20	5,45	7,35	9,05	44	8	19
4	0,05	5,78	7,26	9,15	48	12	17
5	0,025	5,42	7,40	8,80	61	11	17
6	0	5,25	7,45	8,98	35	12	13

При низкой степени модифицирования поверхности  $Al_2O_3$  наблюдается тенденция к увеличению сорбционной активности, вероятно, за счет увеличения числа функциональных групп из состава полиэлектролита, расположенных на доступной поверхности модифицированного  $Al_2O_3$ .

Возможность участия ионов алюминия при поглощении ЛСТ оксидом алюминия проверяли по сорбции этих ионов на образцах ЛСТ-форм  $Al_2O_3$ , содержащих от 5 до 80 мг ЛСТ/г  $Al_2O_3$ . Сорбцию проводили из раствора соли алюминия с концентрацией иона металла 10 мг/дм<sup>3</sup>. Навеска сорбента составляла 0,1 г, объем раствора – 50 см<sup>3</sup>, время контакта при периодическом перемешивании – 1 сут.

В кислой среде (при pH 2,5) в присутствии соли алюминия (концентрация 10 мг/дм<sup>3</sup>) концентрация ионов алюминия в равновесных растворах для всех ЛСТ-форм  $Al_2O_3$  изменялась от 14 до 19 мг/дм<sup>3</sup>, т. е. наблюдается растворение матрицы сорбента. Таким образом, содержание ЛСТ от 5 до 80 мг/г  $Al_2O_3$  практически не изменяет проницаемости покрытия из ЛСТ при частичном растворении сорбента.

Сорбция ионов алюминия на этих же образцах сорбентов при pH 4,10 и 5,00 составляла 4,5...5,0 мг/г сорбента и практически не зависела от его состава. Это обстоятельство может быть связано с тем, что ЛСТ адсорбируется на  $Al_2O_3$  гидрофильными сульфо-группами к поверхности сорбента, которые за счет этого заблокированы, а на поверхности сорбента остаются слабокислотные функциональные группы, что объясняет низкую сорбцию катионов алюминия.

Увеличение pH сорбции до 9,5 и 11,3 приводит к увеличению сорбции ионов алюминия до 24 и 57 мг  $Al^{3+}$ /г при максимальном содержании ЛСТ в составе  $Al_2O_3$ , но наряду с этим наблюдается выделение алюминия в раствор ЛСТ симбатно величине сорбции. В данном случае явление сорбции можно рассматривать в рамках обмена алюминат-ионов на ионы лигносульфоната, которые и приводят к подкислению растворов наряду с процессом частичной деструкции сорбента.

#### *Выводы*

1. Рассмотрен процесс сорбции ЛСТ на  $Al_2O_3$  при различных условиях взаимодействия с достижением емкости по ЛСТ свыше 100 мг/г  $Al_2O_3$ , что может иметь практическое значение.

2. На примере добавок в раствор катионного полиэлектролита, способного образовывать полиэлектролитные комплексы с ЛСТ, показано увеличение сорбционных свойств  $Al_2O_3$ , как и для случая добавки соли алюминия, что указывает на преимущественную адсорбцию ЛСТ в составе комплекса с ионами алюминия.

3. Вероятный механизм избыточного поглощения ЛСТ связан с проницаемостью слоя ЛСТ на  $Al_2O_3$  для ионов алюминия, образующихся при растворении матрицы сорбента, что обеспечивает условия образования комплекса с ионами алюминия и его дальнейшего осаждения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Афанасьев Н.И., Тельтевская С.Е., Макаревич Н.А., Парфенова Л.Н.* Структура и физико-химические свойства лигносульфонатов. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. 162 с.
2. *Богомолов Б.Д., Сапотницкий С.А., Соколов О.М., Соколова А.А., Филиппов Б.С., Мариев А.А., Тиранов П.П., Третьяков С.И., Новожилов Е.В., Гельфанд Е.Д., Селянина Л.И., Борисов Г.В.* Переработка сульфатного и сульфитного щелоков. М.: Лесн. пром-сть, 1989. 360 с.
3. *Дейнеко И.П.* Утилизация лигнинов: достижения, проблемы и перспективы // Химия растительного сырья. 2012. № 1. С. 5–20.
4. *Иванова Е.С., Гавронская Ю.Ю., Стожаров В.М., Пак В.Н.* Взаимосвязь состава, структуры и сорбционных свойств природных алюмосиликатов // Журн. общей химии. 2014. Т. 84, Вып. 2. С. 185–188.
5. *Кирсанов В.А., Тюрин Е.Г.* Развитие сульфитцеллюлозного производства России с точки зрения Киотского протокола // Экология и промышленность России. 2006. № 8. С. 39–41.
6. *Комиссаренков А.А., Луканина Т.Л.* Изучение процесса модифицирования каолина ионами алюминия // Лесн. журн. 2013. № 3. С. 114–119. (Изв. высш. учеб. заведений).
7. *Комиссаренков А.А., Луканина Т.Л.* Применение лигносульфонатов в производстве газетной бумаги // Журн. Росс. хим. общества им. Менделеева. 2011. Т. 55, № 1. С. 45–49.
8. *Комиссаренков А.А., Пругло Г.Ф.* Синтез и изучение свойств технического сорбента на основе отходов производства бумаги // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2009. № 4. С. 44–46.
9. *Лейте В.* Определение органических загрязнений питьевых, природных и сточных вод/Пер. с нем., под ред. Ю.Ю. Лурье. М.:Химия, 1975. 200 с.
10. *Лукьянова В.В., Бондаренко С.В., Тарасевич Ю.И., Малыш Г.Н., Жукова А.И.* Адсорбция фульвокислоты на каолининовых сорбентах, модифицированных полиоксидантами алюминия // Химия и технология воды. 2005. Т. 27, № 5. С. 415–425.
11. *Савина А.Л.* Определение алюминия в питьевой воде//Энергетик. 1977. № 3. С. 25–26.
12. *Салямон Г.С., Петрова Н.А.* Способ количественного определения катионных синтетических поверхностно-активных алкиламинов: А.с. № 345432; заявл. 14.07.72, Бюл. № 22.
13. *Сапотницкий С.А., Крюкова Л.И., Митрофанова Л.М., Солoduхина Л.Г.* Структурные особенности лигносульфоната алюминия//Химия древесины. 1988. № 3. С. 76–82.
14. *Шварценбах Г., Флашка Г.* Комплексонометрическое титрование. М.: Химия, 1970. 360 с.
15. *Шульга Н.В., Кутько И.П., Мартынов В.А.* Комплексообразование в водных растворах лигносульфонатов // Журн. прикл. химии. 2010. Т. 83. Вып. 5. С. 854–857.

Поступила 27.04.15

UDC 541.183:661.185.1

### Technical Lignosulfonates Adsorption on Hydrated Aluminum Oxide Samples

A.A. *Komissarenkov*<sup>1</sup>, Candidate of Chemical Sciences

R.A. *Kopnina*<sup>1</sup>, Postgraduate Student

A.A. *Pozdnyakov*<sup>2</sup>, Deputy Director General

<sup>1</sup>Saint Petersburg State Technological University of Plant Polymers, Ivana Chernykh st., 4, Saint Petersburg, 198095, Russian Federation; e-mail: kom-aa@yandex.ru

<sup>2</sup>Illim Gproup, Mira st., Bratsk-18, Irkutsk region, 665718, Russian Federation

The paper examines the interaction of technical lignosulfonates with hydrated aluminum oxide and with its form containing aminoepichlorohydrin resin Vodamin-115. Sorption was carried out in static conditions under varying reaction parameters (period, pH, concentration of lignosulfonates, sorbent mass, additives, capable of reacting with lignosulfonates to form polyelectrolyte complexes). The sorption process was monitored by a pH change, concentration of lignosulfonates and aluminum ions by photometric method and chelatometry. It was demonstrated that lignosulfonates interacted with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and its modified forms with a wide variation of conditions of sorption with mono- and multimolecular lignosulfonates layers formation on the sorbent surface. As exemplified in addition of a cationic polyelectrolyte, capable of forming polyelectrolyte complexes with lignosulfonates, the increase of the Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sorption properties was indicated, as in the case of aluminum salt additive, which indicated the lignosulfonates adsorption advantage in the complex with the aluminum ions. Precipitated lignosulfonates surface layer is permeable to aluminum ions formed on dissolving of the sorbent matrix. This fact provides conditions to form a complex with aluminum and its further precipitation.

*Keywords:* lignosulfonates, sorption, active aluminum oxide.

#### REFERENCES

1. Afanas'ev N.I., Tel'tevskaya S.E., Makarevich N.A., Parfenova L.N. *Strukturaifiziko-khimicheskiesvoystvalignosul'fonatov* [Structure and Physical and Chemical Properties of Lignosulfonates]. Yekaterinburg: UrO RAN, 2005.162 p.
2. Bogomolov B.D., Sapotnitskiy S.A., Sokolov O.M., Sokolova A.A., Filippov B.C., Mariev A.A., Tiranov P.P., Tret'yakov S.I., Novozhilov E.V., Gel'fand E.D., Selyanina L.I., Borisov G.V. *Pererabotkasul'fatnogoisul'fitnogoshchelokov* [Processing of Sulphate and Sulphite Liquor]. Moscow, 1989. 360 p.
3. Deyneko I.P. Utilizatsiya ligninov: dostizheniya, problemy i perspektivy [Lignin Utilization: Achievements, Problems and Perspective]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of Plant Raw Material], 2012, no. 1, pp. 5–20.
4. Ivanova E.S., Gavronskaya Yu.Yu., Stozharov V.M., Pak V.N. Vzaimosvyaz' sostava, struktury i sorbtionnykh svoystv prirodnykh alyumosilikatov [Relation of Content, Structure and Sorption Properties of Natural Silicoaluminate]. *Zhurnal obshchey khimii* [Russian Journal of General Chemistry], 2014, vol. 84, no. 2, pp. 185–188.
5. Kirsanov V.A., Tyurin E.G. Razvitie sul'fittselyuloznogo proizvodstva Rossii s tochki zreniya Kiotskogo protokola [Evolution of Russian Sulphite Cellulose Manufacture From Kyoto Protocol Point of View]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and Industry of Russia], 2006, no. 8, pp. 39–41.

6. Komissarenkov A.A., Lukanina T.L. Izuchenie protsessa modifitsirovaniya kaolina ionami alyuminiya [Study of Kaolin Modification Process by Aluminum Ions]. *Lesnoy zhurnal*, 2013, no. 3, pp. 114–119.
7. Komissarenkov A.A., Lukanina T.L. Primenenie lignosul'fonatov v proizvodstve gazetnoy bumagi [Lignosulfonate Application in Newsprint Manufacture]. *Rossiyskiy Khimicheskiy Zhurnal – Zhurnal Rossiyskogo khimicheskogo obshchestva im. D.I. Mendeleeva*, 2011, vol. 55, no. 1, pp. 45–49.
8. Komissarenkov A.A., Pruglo G.F. Sintez i izuchenie svoystv tekhnicheskogo sorbenta na osnove otkhodov proizvodstva bumagi [Synthesis and Study of Technical Sorbent Properties on Paper Mill Rejection Base]. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton* [Pulp. Paper. Board], 2009, no. 4, pp. 44–46.
9. Leithe W. *Die Analyse der organischen Verunreinigungen in Trink-, Brauch- und Abwässern*. Stuttgart, 1972. 172 p.
10. Luk'yanova V.V., Bondarenko S.V., Tarasevich Yu.I., Malysh G.N., Zhukova A.I. Adsorbtsiya ful'vokisloty na kaolinitovykh sorbentakh, modifitsirovannykh polioksidatsionami alyuminiya [The Adsorption of Fulvic Acid on Kaolinite Sorbents Modified by Aluminum Polyoxy Cations]. *Khimiya i tekhnologiya vody* [Journal of Water Chemistry and Technology], 2005, vol. 27, no. 5, pp. 415–425.
11. Savina A.L. Opredelenie alyuminiya v pit'evoy vode [Aluminum Determination in Drinking Water]. *Energetik*, 1977, no. 3, pp. 25–26.
12. Salyamon G.S., Petrova N.A. *Sposob kolichestvennogo opredeleniya kationogennykh sinteticheskikh poverkhnostno-aktivnykh alkilaminov* [Method of Quantative Determination of Synthetic Surfactants Alkylamines]. Certificate of authorship no. 345432, 1972.
13. Sapotnitskiy S.A., Kryukova L.I., Mitrofanova L.M., Solodukhina L.G. Strukturnye osobennosti lignosul'fonata alyuminiya [Structural Features of Aluminum Lignosulfonate]. *Khimiya drevesiny*, 1988, no. 3, pp. 76–82.
14. Schwarzenbach G., Flaschka H. *Die komplexometrische Titration*. Stuttgart, 1965.
15. Shul'ga N.V., Kut'ko I.P., Martynov V.A. Kompleksoobrazovanie v vodnykh rastvorakh lignosul'fonatov [Complex Formation in Water Solution of Lignosulfonates]. *Zhurnal prikladnoy khimii* [Russian Journal of Applied Chemistry], 2010, vol. 83, no. 5, p. 854–857.

Received on April 27, 2015

DOI:10.17238/issn0536-1036.2015.6.146

---





ЮБИЛЕИ

УДК 06.091

**ОТ СТУДЕНТА ДО ПРЕЗИДЕНТА**

Владимиру Ивановичу Онегину – 80 лет. Родился он 24 июля 1935 г. в Псковской области. После окончания с отличием в 1960 г. факультета механической технологии древесины (МТД) Лесотехнической академии имени С.М. Кирова (ЛТА) два года работал на Калининском вагоностроительном заводе сначала мастером, затем заместителем начальника деревообрабатывающего цеха.

В 1962 г. поступил в аспирантуру при ЛТА и успешно защитил в 1966 г. диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук.

С 1962 г. и до настоящего времени весь творческий путь В.И. Онегина связан с ЛТА: аспирант, ассистент (1965 г.), старший преподаватель (1967 г.), доцент (1970 г.). Одновременно с преподавательской деятельностью он выполняет обязанности заместителя декана факультета МТД (1965–1969 г.г.), в качестве ученого секретаря квалифицированно ведет дела совета академии (1970–1973 гг.), успешно работает деканом факультета МТД (1973–1982 гг.), будучи проректором по учебной работе (1982–1985 гг.) возглавляет учебно-воспитательную работу в академии.

Научные интересы Владимира Ивановича охватывают проблемы технологии защитно-декоративных покрытий древесины и древесных материалов. Являясь признанным научным авторитетом, В.И. Онегин сумел решить задачи, определяющие принципиально новые пути формирования покрытий, раскрыть механизм взаимосвязи их свойств с системой факторов поверхности древесины, адгезива и технологией его нанесения. Установив физическую картину динамического контакта жидких лакокрасочных материалов с твердой подложкой и выполнив математическое описание движения вязкопластической жидкости по наклонной поверхности, ему удалось разработать методы и принципы направленного регулирования физико-химических свойств лакокрасочных материалов и поверхностей из древесины и древесных материалов. Построенная математическая модель технологического процесса отделки древесины позволила автоматизировать его проектирование и получать оптимальные режимы, обеспечивающие снижение



расхода материалов, трудоемкости и повышение производительности. Результаты этой работы широко использовались в научно-исследовательских, проектно-конструкторских организациях, а также на производстве.

В 1983 г. В.И. Онегин защищает диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук на тему «Повышение эффективности формирования лакокрасочных покрытий древесины» в диссертационном совете Московского лесотехнического института. В 1985 г. ему присуждается ученое звание профессора.

С 1985 г. Владимир Иванович назначается ректором Лесотехнической академии. На его долю выпало руководить академией, пожалуй, в самое трудное время – перестройка, реформы, распад СССР и переход к рыночной экономике. Он стал, после длительного перерыва (с 20-х гг. XX в.), первым выборным ректором старейшего лесного вуза и возглавлял его до 2005 г. В 1988 г. он избирается заведующим кафедрой деревообрабатывающих производств и возглавляет ее и в настоящее время.

Результаты многолетней работы привели к созданию научной школы, под его руководством подготовлено 4 доктора, 18 кандидатов наук, опубликовано более 180 работ, среди которых учебник для вузов, монография, 10 учебных пособий, получено 10 авторских свидетельств, 4 патента на изобретения.

Общественная работа для В.И. Онегина всегда была и остается органичной потребностью: председатель Головного совета по проблемам лесопромышленного комплекса при Минобразовании РФ; председатель Программного комитета Международного лесопромышленного форума; член ресурсной комиссии при губернаторе Ленинградской области; член редколлегий научно-технических журналов («Лесной журнал», «Деревообрабатывающая промышленность», «Известия СПбГЛТУ»), председатель секции наук о лесе Российской академии естественных наук (до 2010 г.); член диссертационного совета по защите кандидатских и докторских диссертаций с 1973 г.; с 1985 г. и по настоящее время – председатель диссертационного совета.

В.И. Онегин активно проводит работу по международному сотрудничеству. При его непосредственном участии академия стала одним из учредителей Европейского института леса (на территории Финляндии), при академии открыт Международный центр лесного хозяйства и лесной промышленности, объединяющий 28 организаций России. Академия (Университет) активно продолжает сотрудничество с университетами США, Франции, Германии, Финляндии, Швеции, Кубы, Вьетнама, Китая, Австралии.

Заслуги В.И. Онегина в научной деятельности, подготовка им специалистов высшей квалификации отмечены присвоением званий: «Заслуженный деятель науки РФ», «Почетный работник лесной промышленности», «Почетный мебельщик России», «Почетный мебельщик Беларуси». Его многолетняя работа оценена наградами: орденами «Знак почета» (1982 г., 2003 г.) и «Белого креста» (Всемирная федерация рыцарей – 1993 г.), серебряной медалью им. В.И. Вернадского. Он избран Почетным профессором Монгольского

политехнического университета. В 2000 г. В.И. Онегин избран Человеком года по Санкт-Петербургу в номинации «Ректоры».

С 2010 г В.И. Онегин – президент Санкт-Петербургской государственной лесотехнической академии имени С.М. Кирова.

Желаем юбиляру крепкого здоровья и новых творческих успехов.

*А.Н. Чубинский<sup>1</sup>, В.И. Мелехов<sup>2</sup>, А.Г. Черных<sup>3</sup>, Р.В. Дерягин<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова

<sup>2</sup>Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

<sup>3</sup>Санкт-Петербургская государственная художественно-промышленная академия имени А.Л. Штиглица

<sup>4</sup>Вологодский государственный технический университет

#### **From a Student to the President**

*A.N. Chubinskiy<sup>1</sup>, V.I. Melekhov<sup>2</sup>, A.G. Chernykh<sup>3</sup>, R.V. Deryagin<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>Saint Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov

<sup>2</sup>Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

<sup>3</sup>Saint Petersburg Stieglitz State Academy of Art and Design

<sup>4</sup>Vologda State Technical University

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2015.6.157

---

УДК. 06.091

## К 70-ЛЕТИЮ ПРОФЕССОРА Н.А. ДРУЖИНИНА

В 2015 г. исполняется 70 лет инженеру лесного хозяйства, доктору сельскохозяйственных наук, профессору, заведующему Вологодской региональной лабораторией Северного НИИ лесного хозяйства Николаю Андреевичу Дружинину.

Среди учителей Николая Андреевича, сформировавших в нем систему научных взглядов и общечеловеческих ценностей, уральский ученый Анатолий Анатольевич Корепанов, вологодский исследователь Павел Алексеевич Анишин и академик РАЕН Виктор Кузьмич Константинов. Под их руководством трудился и развивался будущий деятель науки.

В Свердловске (ныне Екатеринбург) в начале 70-х гг. Николай Андреевич окончил Уральский лесотехнический институт, получив квалификацию инженера лесного хозяйства. Здесь же он написал кандидатскую диссертацию по проблематике гидрологического режима на осушенных лесных площадях. Далее деятельность Н.А. Дружинина была связана с Пермским краем, где он непродолжительное время трудился на лесной опытной станции по тематике гидролесомелиорации, пока не поступило предложение в 1981 г. войти в постоянный штат Вологодской научно исследовательской группы при Архангельском институте леса и лесохимии. В 1983 г. группа была преобразована в Вологодскую региональную лабораторию, которую Николай Андреевич возглавил в 1989 г. В 2006 г. он успешно защитил докторскую диссертацию, раскрыв в ней все преимущества проведения гидролесомелиорации для народного хозяйства.

Н.А. Дружинин активный участник многих совещаний, конференций, симпозиумов (в том числе за рубежом), консультант по вопросам лесоводства, выступает на радио и телевидении. Одновременно с этим он много сил отдает исследовательской деятельности. Сам выезжает на полевые, учит в полевых условиях будущих инженеров и кандидатов наук.

За последние годы под руководством Николая Андреевича изучены эффективность гидролесомелиорации, плодоношения съедобных макромицетов, дендрохронологии, смолопродуктивности сосняков и др. В конце XX в. в Вологодской области при его непосредственном участии созданы стационарные объекты наблюдений на площадях гидролесомелиоративного фонда в Сокольском районе – «За Пельшмой» (на части болотного массива «Пельшемское»), «Разрыв», «Дор» и «Кузнецово» (на Рабангско-Доровском болотном массиве). В Бабаевском районе (Борисово-Судское лесничество) оформлены стационары



«Лукино» и «Шогда», в Харовском – стационар «Аламбаш», в Усть-Кубенском – «Митенское». Отдельно стоит выделить стационары «Чекшино» и «Развилка» (вблизи дер. Кузнецово) в Сокольском районе, где исследовались комплексные рубки в еловых древостоях и лесовосстановление на осушенных землях.

Николай Андреевич – разноплановый ученый-лесовод, поэтому его ученики лишь продолжают направления исследований, которые он развивал. Главные ученики Николая Андреевича – его сыновья, Павел и Федор, которые продолжают дело отца. Младший, Федор, в 2014 г. успешно защитил докторскую диссертацию и сейчас активно проявляет себя в научном сообществе.

Под его руководством защитили свои выпускные работы десятки молодых специалистов. Среди них можно выделить Евгения Александровича Мариничева («Лесоводственная эффективность прореживаний в сосновых древостоях на осушаемых землях»), Александра Сергеевича Пестовского («Влияние лесосошения и рубок на плодоношение съедобных грибов»), Анатолия Сергеевича Новоселова («Смолопродуктивность сосняков после осушения и несплошных видов рубок») и Владимира Сергеевича Вернодубенко («Динамика хвойных древостоев на торфяных почвах»).

Желаем Николаю Андреевичу крепкого здоровья, успехов в воспитании будущих продолжателей своих замыслов, расширении деятельности научной школы.

*А.С. Новоселов<sup>1</sup>, В.С. Вернодубенко<sup>2</sup>, А.С. Пестовский<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Вологодский государственный университет

<sup>2</sup>Вологодская государственная молочнохозяйственная академия  
имени Н.В. Верещагина

#### **To the 70th Anniversary of the Birth of Professor N.A. Druzhinin**

*A.S. Novoselov<sup>1</sup>, V.S. Vernodubenko<sup>2</sup>, A.S. Pestovskiy<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Vologda State University

<sup>2</sup>Vologda State Dairy Farming Academy by N.V. Vereshchagin

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2015.6.160

---

УДК 06.091

## ЖИЗНЬ, ПОСВЯЩЕННАЯ ЛЕСНОМУ ДЕЛУ

Профессору кафедры искусственного лесовыращивания и механизации лесохозяйственных работ Московского государственного университета леса (МГУЛ), доктору сельскохозяйственных наук Игорю Ивановичу Дроздову исполнилось 80 лет.

Игорь Иванович родился 25 августа 1935 г. в г. Оренбурге. Родители его переезжают в г. Жиздру Калужской области. Еще в школе он выбрал профессию лесовода и поступил в Брянский лесохозяйственный институт, который окончил с отличием в 1959 г. По направлению работал лесничим в Калужской области. Заочно занимался научной работой под руководством профессора Б.В. Гроздова, но ввиду его смерти не завершил ее. В 1967 г. поступил в очную аспирантуру при кафедре лесных культур Московского лесотехнического института (МЛТИ), где под руководством профессора С.С. Лисина защитил кандидатскую диссертацию (1973 г.) и был оставлен преподавателем.



В МЛТИ прошел все этапы научно-педагогического становления от ассистента до профессора, заведующего кафедрой лесных культур, от кандидата до доктора сельскохозяйственных наук (1992 г. ). С 1992 г. по 2012 г. в должности заведующего кафедрой искусственного лесовыращивания и механизации лесохозяйственных работ МГУЛ, действительный член Российской академии естественных наук (РАЕН).

Создал научную школу лесной интродукции, принимал участие в ряде экспедиций по Сибири и Дальнему Востоку. Игорь Иванович – ведущий ученый в области интродукции кедра сибирского в центральные регионы России. Им много сделано и для популяризации знаний об этой ценной древесной породе, а также для ее широкого внедрения в культуру.

Под его руководством защищено 10 кандидатских диссертаций и 1 докторская. Опубликовал более 120 научных и методических изданий, оппонирует докторские и кандидатские диссертации. Долгое время был членом Координационного совета по лесной генетике и селекции Центрального научно-исследовательского института лесной генетики и селекции. Является членом трех диссертационных советов в МГУЛ и Северном (Арктическом) федеральном университете.

За 45 лет пребывания в МЛТИ-МГУЛ он освоил практически все тонкости и направления учебно-методической работы в вузе, стал ведущим соавтором учебных программ ряда дисциплин, подготовил и опубликовал более 25 учебных пособий.

Награжден медалью РАЕН, значком почетного работника высшего профессионального образования, отраслевыми значками по охране и преумножению лесных богатств, многими грамотами.

В свои 80 лет Игорь Иванович полон энергии и творческих замыслов. Сочетание научно-методической, педагогической подготовки и практического опыта положило основу его высокого авторитета среди ученых вузов лесного профиля, научных и производственных учреждений лесной отрасли. Он желанный гость и активный участник традиционных встреч ведущих ученых-лесоводов из разных вузов России, проходящих ежегодно в Вологде на кафедре лесного хозяйства Вологодской государственной молочнохозяйственной академии имени Н.В. Верещагина.

Желаем профессору И.И. Дроздову доброго здоровья и дальнейших успехов на тернистом пути лесовода!

*Н.А. Бабич<sup>1</sup>, В.И. Мелехов<sup>1</sup>, И.В. Евдокимов<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

<sup>2</sup>Вологодская государственная молочнохозяйственная академия  
имени Н.В. Верещагина

#### **Life Devoted to the Forest Science**

*N.A. Babich<sup>1</sup>, V.I. Melekhov<sup>1</sup>, I.V. Evdokimov<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

<sup>2</sup>Vologda State Dairy Farming Academy by N.V. Vereshchagin

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2015.6.162

---



## ПАМЯТИ УЧЕНЫХ

### ПАМЯТИ БОРИСА НАУМОВИЧА УГОЛЕВА



31 июля 2015 г. исполнилось бы 90 лет Борису Наумовичу Уголеву – заслуженному деятелю науки РФ, профессору Московского государственного университета леса, доктору технических наук, почетному члену Российской академии естественных наук (РАЕН), ведущему отечественному древесинове-ду с мировым именем, академику Международной академии наук о древесине (IAWS).

Выдающийся ученый, талантливый педагог и организатор более 70 лет своей жизни посвятил служению науке и важному делу подготовки специали-стов лесного профиля.

Родился Борис Наумович 27 (31) июля 1925 г. в г. Рославль Смоленской области. Школьные годы его прошли в Ленинграде. Феноменальная память, эрудиция, широкий кругозор, любознательность, литературные способности и потрясающая работоспособность уже тогда отличали его. Затем война, эва-куация, трудовая деятельность рабочим на меховой фабрике, трактористом машинно-тракторной станции, продолжение учебы и работа на фанерном за-воде в г. Слободской Кировской области.

Несмотря на все тяготы и лишения военного времени, непреодолимая жажда знаний не оставляла Бориса Наумовича. В 1943 г. он стал студентом факультета механической технологии древесины, вновь открытого Москов-ского лесотехнического института (ныне МГУЛ). Окончив МЛТИ в 1948 г., Б.Н. Уголев работал в Центральном научно-исследовательском институте ме-



ханической обработки древесины и обучался в аспирантуре под руководством проф. Н.Н. Чулицкого. В 1953 г. он защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук на тему: «Исследование режимов конечной обработки древесины после камерной сушки».

Вернувшись в альма-матер в 1957 г., он работал сначала доцентом, затем профессором кафедры древесиноведения. Более 40 лет являлся руководителем курса древесиноведения в МЛТИ-МГУЛ. Будучи строгим, но справедливым преподавателем, он снискал уважение и любовь студентов не только родного вуза, но и других институтов и университетов. Его увлеченность предметом, удивительное жизнелюбие, позитивное отношение к жизни, открытость ко всему новому и прогрессивному не оставляли студентов равнодушными. Свою последнюю лекцию по современным проблемам науки о древесине в мае 2015 г. он закончил под аплодисменты студентов-магистрантов.

Достоинно продолжая традиции своих учителей (Л. М. Перельгина, П.С. Серговского, Б.М. Буглая), он целеустремленно и увлеченно работал в науке. В 1968 г. он защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук, в которой отражены результаты исследований деформативности древесины поперек волокон и внутренних напряжений при сушке. Вклад Б. Н. Уголева и созданной им научной школы широко известен. Реология, сушильные напряжения, неразрушающие методы контроля и другие проблемы физики и механики древесины – вот круг интересов Б.Н. Уголева, положивших начало плодотворно развиваемым научным направлениям.

В последнее время его занимали проблемы, связанные с деформационными превращениями древесины, замороженными деформациями, гигроусталостью, и, особенно, обнаруженный им еще в 80-е гг. «эффект памяти формы» древесины. Обладая удивительной научной прозорливостью, он предвосхитил появление новых научных направлений на основе междисциплинарного подхода к изучению древесины.

За многие годы Б.Н. Уголев опубликовал более 440 работ. Среди них известные учебники для вузов («Испытания древесины и древесных материалов» – 1965 г.; «Современные проблемы науки о древесине» – 2014 г.; «Древесиноведение с основами лесного товароведения» – 1975 г., 1986 г., 2001 г., 2007 г.), техникумов (1971 г., 1991 г., 2004 г.), монографии по деформативности древесины и внутренним напряжениям (1959 г., 1971 г., 1980 г.), справочник по древесине (1989 г.). Они стали настольными книгами у специалистов в области механической обработки древесины, многие из них переизданы за рубежом и обширно цитируются в учебниках по древесиноведению и физике древесины Болгарии, Венгрии, Германии, Словакии, Сербии, Швейцарии и др. стран.

До самого последнего дня Борис Наумович следил за новинками научной литературы, писал книги, рецензии. В 2015 г. была издана его монография «Исторические вехи отечественного древесиноведения и взгляд в будущее», где отражен ход развития древесиноведения в нашей стране и освещены тенденции исследований древесины.

Мировое научное сообщество признало заслуги Б. Н. Уголева, избрав его в 1991 г. академиком IAWS. В течение 6 лет (с 1998 г. по 2004 г.) он состоял членом регулярно возобновляемого правления этой высокоавторитетной научной организации.

С 1990 г. Б.Н. Уголев возглавлял Региональный координационный совет по современным проблемам древесиноведения (РКСД). Этот межгосударственный координационный и научно-информационный центр объединяет ученых из 14 европейских стран. Под руководством Б.Н. Уголева РКСД начал функционировать под эгидой IAWS, вошел состав Учебно-методического объединения в области лесного дела.

РКСД провел 5 крупных международных симпозиума «Строение, свойства и качество древесины» (1990 г., 1996 г., 2000 г., 2004 г. и 2014 г.), ежегодно организует выездные сессии и семинары, ведет Реестр экспертов высшей квалификации в области древесиноведения и сопредельных технологических дисциплин.

По приглашениям национальных академий, университетов и других организаций Б.Н. Уголев читал лекции и выступал с докладами на конференциях в Австрии, Англии, Болгарии, Венгрии, Канаде, Польше, Словакии, США, Франции. Он поддерживал научные связи с зарубежными центрами более 25 стран по исследованиям древесины; состоял членом технических комитетов всемирных организаций (IUFRO, RILEM); в 2006 г. был избран почетным доктором Западно-Венгерского университета (Шопрон).

В течение многих лет Б.Н. Уголев работал по государственной и международной стандартизации в области методов испытания древесины, определения показателей качества лесоматериалов, терминологии; входил в состав технического комитета по стандартизации; состоял членом научного совета по деревянным конструкциям Российской академии архитектуры и строительства и ряда других советов.

Б.Н. Уголев являлся научным консультантом «Большой российской энциклопедии» и автором многих статей в энциклопедических изданиях, членом редколлегии журналов «Древарски вискум» (Словакия), «Деревообрабатывающая промышленность» (Россия), «Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник», членом редсовета «Лесного журнала», систематически информируя читателей о древесиноведческих форумах в нашей стране и за рубежом.

Борис Наумович подготовил основной доклад для 9-й Международной IUFRO конференции по сушке древесины, которая состоялась в 2005 г. в Китае. В нем отражены итоги более полувековой научной деятельности его и его сотрудников в области исследования деформаций и сушильных напряжений в древесине.

В 2009 г. впервые в России состоялись Пленарное заседание IAWS и приуроченная к нему конференция «Лес как возобновляемый источник жизненных ценностей в изменяющемся мире», проходившие в Санкт-Петербургской государственной лесотехнической академии и МГУЛ. В целях популяризации и пропаганды современных достижений наук о древесине

на пленарных собраниях IAWS читаются академические лекции. Академическая лекция Б.Н. Уголева «Wood as natural smart material» была посвящена древесине как природному интеллектуальному материалу. Этот образный термин используют для материалов, полезно реагирующих на изменение окружающей среды. Основное внимание было уделено доминантному признаку интеллектуальных материалов – «эффекту памяти формы», т. е. их способности после принудительного изменения формы восстанавливать ее в результате возвращения исходного физического состояния. Причиной обнаруженной автором и его учениками силовой и деформационной памяти у древесины в исследованиях, проводимых с начала 80-х гг. прошлого века, являются замороженные деформации. Была показана роль этих деформаций в расчетах, способах контроля и устранения сушильных напряжений в пиломатериалах, исправлении дефектов сушки шпона, при гигроусталости элементов деревянных конструкций. По материалам академической лекции была опубликована статья в журнале «Wood Science and Technology».

Руководство IAWS высоко оценило вклад Б.Н. Уголева в развитие науки о древесине, расширение международных связей, активное участие в мероприятиях Академии и выдвижении российских ученых в члены IAWS. Проф. Б. Н. Уголев был награжден медалью IAWS за выдающиеся достижения в области древесиноведения «IAWS – Distinguished Service Award». 7 ноября 2014 г. Президент IAWS доктор Уве Шмитт провел церемонию награждения на заседании ученого совета МГУЛ.

До своего юбилея Борис Наумович не дожил всего месяц. Известие о его кончине многочисленные ученики, друзья, коллеги и последователи восприняли как личную утрату. Борис Наумович был Человеком с большой буквы, обладающим исключительными человеческими качествами. Искренние соболезнования поступили из многих стран.

Борис Наумович Уголев прожил долгую, насыщенную событиями и свершениями жизнь. «Жизнь в работе», именно так называется его монография, очень точно отражает суть и секрет его успеха и творческого долголетия. Огромное педагогическое и научное наследие Б.Н. Уголева будет востребовано еще многие годы не только у нас в стране, но и за рубежом. Вся его жизнь являлась примером истинного служения науке. Борис Наумович – великий ученый и педагог, человек-эпоха – внес колоссальный вклад и на долгие годы предопределил развитие отечественного древесиноведения.

*В.Г. Санаев, А.Н. Обливин, Г.А. Горбачева*  
Московский государственный университет леса

**In Memory of Boris Naumovich Ugolev**

*V.G. Sanaev, A.N. Oblivion, G.A. Gorbacheva*  
Moscow State Forest University

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2015.6.164

## ПАМЯТИ МИХАИЛА ВЛАДИМИРОВИЧА РУБЦОВА

На 80 году ушел из жизни Михаил Владимирович Рубцов, видный ученый в области лесоведения и лесоводства, член-корреспондент Российской академии наук (РАН), заслуженный лесовод Российской Федерации, доктор сельскохозяйственных наук, профессор.

В жизни Михаил не был баловнем судьбы. По разным причинам менял места работы. Но, к счастью, не менялась его преданность Русскому Лесу.

После окончания факультета лесного хозяйства Московского лесотехнического института (1959 г.) работал помощником таксатора, инженером-таксатором Первой аэрофотолесоустроительной экспедиции Всесоюзного объединения «Леспроект», где приобрел неоценимый для лесовода опыт полевика.

В 1961 г. он поступает в аспирантуру Ленинградской лесотехнической академии имени С.М. Кирова и под руководством ведущего ученого-таксатора А.А. Байтина в 1964 г. успешно защищает кандидатскую диссертацию.

Не суетливо, но уверенно М.В. Рубцов поднимается по карьерной лестнице: старший инженер, главный специалист отдела, начальник отдела, заведующий лабораторией Всесоюзного проектно-изыскательного института «Союзгипролесхоз» (1965–1987 гг.).

Талант М.В. Рубцова, как ученого, исследователя, особо раскрылся на должности заведующего лабораторией Института лесоведения РАН (с 1992 г.)

С участием М.В. Рубцова разработано теоретическое обоснование нормативно-методических документов и их внедрение в области организации рационального ведения лесного хозяйства в защитных и водоохранных лесах, проведены оценка влияния леса на объем и качество водных ресурсов, деление лесного фонда по целевому назначению лесов в целях сохранения и повышения их средообразующей и социальной роли, рационального использования лесных ресурсов.

Актуальность и новизна результатов исследований М.В. Рубцова отмечены серебряными медалями Выставки достижений народного хозяйства и престижной наградой лесоводов «Золотой медалью им. Г.Ф. Морозова». Всего Михаилом Владимировичем опубликовано более 150 научных трудов.

М.В. Рубцов ответственно относился к выполнению общественной работы на должности председателя секции «Лесоводство» Научного совета



по проблемам леса РАН, избирался членом президиума Российского общества лесоводов, членом редколлегии журналов «Лесоводство» (РАН) и «Лесной журнал» (Изв. высш. учебных заведений).

Михаил Владимирович 15 лет входил в состав Экспертного совета ВАК.

Его имя навсегда внесено в историю отечественного лесоводства, а творческий вклад всегда будет служить на благо Русского Леса.

*Н.А. Бабич<sup>1</sup>, С.А. Корчагов<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

<sup>2</sup>Вологодская государственная молочнохозяйственная академия  
имени Н.В. Верещагина

**In Memory of Mikhail Vladimirovich Rubtsov**

*N.A. Babich<sup>1</sup>, S.A. Korchagov<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

<sup>2</sup>Vologda State Dairy Farming Academy by N.V. Vereshchagin

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2015.6.168

---

УКАЗАТЕЛЬ СТАТЕЙ,  
ПОМЕЩЕННЫХ В «ЛЕСНОМ ЖУРНАЛЕ»  
в 2015 г.

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

- Аткина Л.И., Сафронова У.А.** Характеристика формы и размеров горизонтальной проекции крон деревьев черемухи Маака в г. Екатеринбурге. № 5-92.
- Ахматович Н.А., Селиховкин А.В., Магдеев Н.Г.** Управление рисками в Республике Татарстан: вредители и болезни основных лесобразующих пород. № 1-21.
- Бабушкина Е.А., Белокопытова Л.В.** Камбиальная зона – основная мишень влияния внешних факторов на формирование годичных колец хвойных. № 6-35.
- Бахтин А.А., Соколов Н.Н.** Типы возрастной структуры заболоченных сосняков Архангельской области. № 4-76.
- Бобкова К.С., Кузнецов М.А., Осипов А.Ф.** Запасы крупных древесных остатков в ельниках средней тайги европейского Северо-Востока. № 2-9.
- Большаков Н.М., Жиделева В.В., Пахучий В.В.** Эколого-экономические основы организации лесного хозяйства в восточных районах Европейского Севера России в условиях изменения климата. № 5-77.
- Бондарев А.И., Онучин А.А., Чиртокин В.В., Соколов В.А.** О концептуальных положениях интенсификации использования и воспроизводства лесов в Сибири. № 6-25.
- Волков А.Г.** Влияние напочвенного покрова на лесную подстилку в еловой формации. № 2-63.
- Горяева Е.В., Мохирев А.П.** Инвентаризация зеленых насаждений с использованием ГИС-технологий на примере города Лесосибирска. № 2-80.
- Градов О.В.** Хромато-ауксанометрия и хромато-масс-ауксанометрия в фенологическом стадийном мониторинге лесных пород на основе флейво- и газохимических принципов с автоматической динамической идентификацией паттернов. № 5-34.
- Гриб В.М.** Особенности строения корневых систем сосны обыкновенной и их влияние на качество лесовосстановления. № 2-37.
- Дебков Н.М.** Количественные и качественные параметры возобновления под пологом древостоев, сформировавшихся из предварительных генераций. № 1-35.
- Ивонин В.М., Тертерян А.В.** Эрозия почвы во время ливней в производных лесах Северо-Западного Кавказа. № 1-54.
- Ильинцев А.С., Третьяков С.В., Коптев С.В., Федотов И.В., Ершов Р.А.** Текущий прирост по диаметру в насаждениях, пройденных рубками ухода прореживанием. № 6-66.
- Ковязин В.Ф., Нгуен Т.Л., Фан Ч.Х.** К методике исследования городских насаждений. № 6-57.
- Копий Л.И., Дерех О.И.** Проблемы рекреационного использования лесов ополья Украины. № 5-111.
- Коптев С.В.** Товарная структура лесного массива северотаежных ельников и оценка классов товарности. № 2-90.
- Корчагов С.А., Лупанова И.Н.** Развитие лесной сертификации в Вологодской области и ее роль в обеспечении легальности заготовки древесины. № 2-30.
- Кульбанская И.Н.** Патогенез туберкулеза ясеня обыкновенного в условиях Западного Подолья Украины. № 6-75.
- Лебедев Ю.В.** Методология, принципы и практика оценки лесных экосистем (лесов). № 1-9.

- Мапелли С., Бергани А. Участие фенольных соединений в реакции грецкого ореха на затопление почвы. № 2-21.
- Марич С.Н., Бабич Н.А., Бабкин И.М., Хабаров Ю.Г. Оценка воздействия модифицированных лигносульфонатов на вегетацию сорняков и сеянцев ели в лесных питомниках. № 3-59.
- Мехтиев Дж. С. Вопросы использования лидаров для контроля лесных пожаров в горных массивах. № 4-68.
- Моисеев Н.А. Лесная экономика в системе лесопользования в теории и на практике. № 6-9.
- Мочалов Б.А., Бунтина М.Л., Боушкина С.В. Использование стимуляторов из водной вытяжки коропометного компоста и гетероуксина при пикировке сеянцев сосны в контейнерах. № 5-67.
- Некипелова Е.Ф., Петрик В.В., Поташева Ю.И., Куприянов А.Г. Влияние рекреационной нагрузки на состояние древесных насаждений лесопарка. № 5-100.
- Полякова В.В. Железо в грунтовых и поверхностных водах. № 3-29.
- Прожерина Н.А. Тропосферный озон и его влияние на ранние этапы роста и развития сосны и ели разного географического происхождения. № 4-9.
- Рубцов М.В., Дерюгин А.А. Отпад деревьев после рубки древостоев березы с сохранением ели в южной тайге центральной части русской равнины. № 5-9.
- Рукомойников К.П. Обоснование эффективности функционирования комплексов агрегатов при пересадке подраста из-под полога леса. № 5-26.
- Рунова Е.М., Гнаткович П.С. Перспективы рекреационного использования городских лесов селитебной территории Братска. № 3-43.
- Самсонова И.Д. Оценка медоносных ресурсов на землях лесного фонда Ростовской области. № 1-45.
- Смирнов А.И., Орлов Ф.С., Дроздов И.И. Влияние низкочастотного электромагнитного поля на прорастание семян и рост сеянцев сосны обыкновенной и ели европейской. № 3-53.
- Соколов А.И., Харитонов В.А., Пеккоев А.Н., Кривенко Т.И. Сохранность и рост культур сосны, созданных посадочным материалом с закрытой корневой системой в условиях Карелии. № 6-46.
- Старицын В.В., Беляев В.В. Урожайность и содержание витамина С в бруснике (*Vaccinium vitis-idaea* L.) и чернике (*Vaccinium myrtillus* L.) в пределах Плесецкого тектонического узла. № 1-78.
- Сташкевич Н.Ю. Рост *Pinus sibirica* Du Roi в культурах и под пологом сосново-березовых лесов в подтаежной зоне Западного Саяна. № 3-35.
- Степаненко И.И. Критерии и индикаторы роста, продуктивности лесных насаждений при их интенсивном выращивании. № 4-18.
- Сунгурова Н.Р., Сунгуров Р.В. Анализ состояния и роста культур сосны и ели в Северо-таежном районе. № 2-70.
- Сурсо М.В. Микрофенология женского репродуктивного цикла и структура урожая семян сосны обыкновенной в северной тайге. № 2-50.
- Сурсо М.В., Барзут О.С., Зайцев А.И., Пинаевская Е.А. Морфологическая характеристика и динамика радиального роста можжевельника сибирского (*Juniperus sibirica* Burgsd.) Сахалина и Камчатки. № 4-44.
- Тюкавина О.Н. О методах интерпретации результатов акустической томографии древесины сосны. № 4-61.
- Феклистов П.А., Клевцов Д.Н., Кунников Ф.А., Хабарова Е.П., Амосова И.Б. Динамика продуктивности сосновых древостоев разного происхождения. № 4-55.
- Фучило Я.Д., Рябухин А.Ю., Сбитная М.В., Кайдык В.Ю., Левин С.В.

Естественное возобновление сосны обыкновенной в условиях Восточного Полесья Украины. № 1-71.

**Чеканьшкин А.С., Лепёхин А.А.** Состояние защитного лесоразведения в ЦЧЗ. № 4-9.

**Чернов Н.Н.** Биотектоника – методологическая основа исследования роста древостоев. № 1-62.

**Чураков Б.П., Замалдинов И.Т., Чураков Р.А.** Влияние сердцевинной гнили на продукцию древостоев осины разных форм. № 4-30.

**Юдин И.А., Юдина О.А., Наквасина Е.Н.** Репродуктивные особенности ели обыкновенной в географических культурах Архангельской области. № 4-19.

#### ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

**Заикин А.Н., Рыжикова Е.Г.** Методика расчета продолжительности и оценки энергозатрат работы лесосечных машин. № 1-94.

**Кочнев А.М., Юшков А.Н.** Обоснование методов определения показателей оценки эксплуатационной эффективности колесного трелевочного трактора. № 1-85.

**Посыпанов С.В.** Определение усилий в гибких связях пакетного лесосплавного пучка, находящегося на суше. № 4-104.

**Самсонов С.В., Барабанов В.А., Гаврюшин С.С.** Технология применения твердых плавучих контейнеров для транспортировки лесоматериалов. № 2-99.

**Соколов А.П.** Оперативное логистическое управление транспортным процессом лесозаготовительного предприятия. № 4-87.

#### МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

**Агапов А.И.** Оптимизация раскроя пиловочника больших размеров с выпи-

ливанием трех брусьев и двух пар боковых досок. № 1-108.

**Агеев С.П.** Линейная модель процесса электропотребления лесопильной рамы. № 5-126.

**Алексеев А.Е., Думанский А.И., Думанский И.О.** Выбор режимов лазерной термической обработки ножей рубительных машин для переработки сухостойной древесины. № 3-84.

**Арленинов Д.К., Беккер Д.А.** Влияние уровня напряжений на ползучесть древесины при изгибе. № 6-128.

**Архипов И.В., Кузнецов В.А.** Расчет объема опилок при раскросе бревна. № 2-123.

**Губенко Л.А., Хандов М.Г.** Оценка прочности на растяжение деревянных элементов при наличии сучков. № 1-103.

**Иванов С.В., Шарапов Е.С., Королев А.С.** Функционально-элементный анализ простого реза. № 4-137.

**Мелехов В.И., Шульгин В.А.** Резонансные явления в процессе СВЧ-сушки древесины. № 5-135.

**Мюллер О.Д., Мелехов В.И., Герасимчук Д.Л., Ключин Н.М., Тюрикова Т.В.** Экспериментальное определение влияния на модуль Юнга давления прессования древесной гранулы. № 3-69.

**Мюллер О.Д., Мелехов В.И., Любов В.К., Тюрикова Т.В.** Математическая модель процесса формирования древесных гранул. № 2-104.

**Онегин В.И.** Свойства древесины, учитываемые при формировании защитно-декоративных покрытий древесины и древесных материалов. № 6-116.

**Памфилов Е.А., Алексеева Е.В.** Перспективные материалы для узлов трения деревообрабатывающего оборудования. № 4-113.



- Прокофьев Г.Ф., Коваленко О.Л.** Определение коэффициента концентрации напряжений в межзубовых впадинах ленточных пил при изгибе. № 4-125.
- Сергеевичев А.В.** Анализ разрушения абразивных зерен при шлифовании древесины и древесных материалов. № 5-117.
- Серпик И.Н., Алексейцев А.В., Лукаш А.А.** Определение параметров пресс-формы для обеспечения целостности лицевой поверхности склеиваемой рельефной фанеры. № 3-77.
- Стоянов В.В., Бояджи А.А.** Экспериментальное исследование прочности и деформативности комбинированной металлодеревянной арочной конструкции. № 3-93.
- Таратин В.В.** Определение условий равновесия предмета обработки в системе СИД лесопильного агрегата. № 1-117.
- Хвилюзов М.А., Галашев А.Н., Соловьев И.И.** Компенсация методической погрешности при ИК-контроле нагрева круглых пил. № 6-107.
- Черепанов С.А., Лужанский Д.А.** Анализ уровня шума при высокоскоростном фрезеровании древесины. № 5-146.
- Черепанов С.А., Лужанский Д.А., Прокофьев Г.Ф.** Исследование уровня вибрации и качества обработанной поверхности при высокоскоростном фрезеровании древесины. № 6-96.
- Шарапов Е.С., Чернов В.Ю., Торопов А.С.** Исследование влияния влажности на процесс микро сверления древесины. № 6-85.
- ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ**
- Бубнова А.И., Богданович Н.И.** Получение микропористых углеродных адсорбентов методом термохимической активации хвойных опилок с обработкой ортофосфорной кислотой на стадии предпиролиза. № 3-104.
- Гордейко С.А., Черная Н.В., Шишаков Е.П.** Упрочнение макулатурных видов бумаги и картона, проклеенных в кислой, нейтральной и слабощелочной средах. № 5-165.
- Дробосюк В.М., Малиновская Г.К., Литвинова Л.В.** Аэродинамическое формирование бумаги санитарно-гигиенического назначения. № 1-126.
- Захарова А.И., Третьяков С.И., Кутакова Н.А., Коптелова Е.Н.** Выделение экстрактивных веществ из луба коры березы при воздействии СВЧ-поля. № 4-148.
- Ипатов Е.В., Крутов С.М., Грибков И.В., Сазанов Ю.Н.** Сольволиз технических лигнинов в водных и спиртовых растворах гидроксида натрия. № 3-123.
- Комиссаренков А.А., Копнина Р.А., Поздняков А.А.** Адсорбция технических лигносульфонатов на образцах гидратированного оксида алюминия. № 6-146.
- Кравченко М.И.** Экспериментальное исследование процесса промывки целлюлозы. № 5-183.
- Кравченко М.И.** Исследование процесса промывки сульфитной целлюлозы в промышленных условиях. № 6-138.
- Миловидова Л.А., Королева Т.А., Романов М.Е., Окулова Е.О.** Особенности производства беленой лиственной сульфатной целлюлозы при использовании в качестве древесного сырья березы и осины в соотношении 70:30. № 5-174.
- Озаркив И.М., Демчина Р.А., Грыджук П.П., Федьина М.Ф., Перетятко Б.М.** Усовершенствование технологии пропитки древесины способом «прогрев-холодная ванна» с использованием амидофосфата КМ. № 5-154.

**Пустынная М.А., Гусакова М.А., Боголицын К.Г.** Региональные и возрастные изменения химического состава лигноуглеводной матрицы лиственной древесины (на примере осины *Populus tremula*). № 1-133.

**Сиваков В.П., Музыкантова В.И., Гребенщиков Ю.М.** Диагностирование засорения сит питателя высокого давления варочного котла. № 1-144.

**Тихонов Ю.А., Куров В.С., Оруджов Д.Р.** Сдвиговые течения бумажной массы переменной концентрации. № 2-133.

**Удальцов В.А., Пазухина Г.А.** К вопросу о делигнификации древесины березы в системе гидроксид калия–гидразин–изобутиловый спирт–вода. № 4-156.

**Хабаров Ю.Г., Лахманов Д.Е.** Изучение взаимодействия конденсированных лигнинов с азотной кислотой в водно-органо-растворной среде. № 2-142.

**Щербакова Т.О., Черная Н.В.** Особенности процесса размола волокнистой суспензии в условиях ее наполнения синтетическими высокодисперсными соединениями в слабощелочной среде. № 3-112.

#### **ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА**

**Ершов С.В.** К вопросу построения модели ажиотажного спроса. № 4-174.

**Михайлов Д.А., Мосягин В.И.** Распределение финансовых рисков в хозяйственных договорах предприятий лесопромышленного комплекса. № 2-152.

**Мосягин В.И.** К вопросу о страховании договорных цен в лесопромышленном комплексе. № 4-166.

**Мякшин В.Н., Пластинин А.В.** Инвестиционная привлекательность Северо-Арктического региона: оценка, инструменты, механизмы управления. № 2-159.

#### **ИСТОРИЯ НАУКИ**

**Лупанова Е.М.** Вопрос о собственности на леса в целях их сохранения в России XVIII в. № 2-170.

**Лупанова Е.М.** Некоторые аспекты организации и технологий лесного хозяйства в России XVIII в. № 3-142.

**Моисеев Н.А.** Двухсотлетний фрагмент истории Беломорской тайги. № 4-180.

#### **КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ**

**Горбунов А.А., Третьяков С.В.** Динамика отпада деревьев в смешанных среднетаежных осиновых насаждениях Архангельской области. № 1-152.

**Мерзленко М.Д., Захарова М.И.** Влияние высоты семян на рост сосны в лесных культурах. № 1-158.

**Третьяков С.В., Коптев С.В., Богданов А.П.** Товарные таблицы для таксации лиственных древостоев Архангельской области методом круговых реласкопических площадок. № 3-137.

#### **КОНФЕРЕНЦИИ И СОВЕЩАНИЯ**

**Дебков Н.М.** Межрегиональное научно-производственное совещание «Проблемы и перспективы комплексного лесопользования и лесовосстановления в кедровых лесах Сибири». № 2-179.

#### **КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ**

**Бабич Н.А., Мельник П.Г., Евдокимов И.В.** Итоги конференции «Леса Евразии» в Вологде. № 1-165.

**Гельфанд Е.Д., Мелехов В.И.** Актуальная и полезная книга. № 1-163.

**Евдокимов И.В.** Ценная книга для охотничьего и лесного хозяйства. № 4-186.

#### **ЮБИЛЕИ**

**Бабич Н.А., Мелехов В.И., Евдокимов И.В.** К юбилею ученого-лесоведа и поэта А.П. Добрынина. № 3-166.

**Бабич Н.А., Мелехов В.И., Евдокимов И.В.** Жизнь, посвященная лесному делу. № 6-162.

**Григорьев И.В.** Александр Николаевич Минаев. № 3-168.

**Мелехов В.И., Гельфанд Е.Д., Микловчик Н.Ю.** Юбилей профессора Г.Ф. Прокофьева. № 2-182.

**Новоселов А.С., Вернодубенко В.С., Пестовский А.С.** К 70-летию профессора Н.А. Дружинина. № 6-160.

**Чубинский А.Н., Мелехов В.И., Черных А.Г., Дерягин Р.В.** От Студента до президента. № 6-157.

#### ПАМЯТИ УЧЕНЫХ

**Бабич Н.А., Корчагов С.А.** Памяти Михаила Владимировича Рубцова. № 6-168.

**Моисеев Н.А.** К памяти академика И.С. Мелехова в связи со 110-летием со дня его рождения. № 3-170.

**Санаев В.Г., Обливин А.Н., Горбачева Г.А.** Памяти Бориса Наумовича Уголева. № 6-164.