

**СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК**

**ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
КРАСНОЯРСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
ИНСТИТУТ ЛЕСА ИМ. В.Н. СУКАЧЕВА**

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

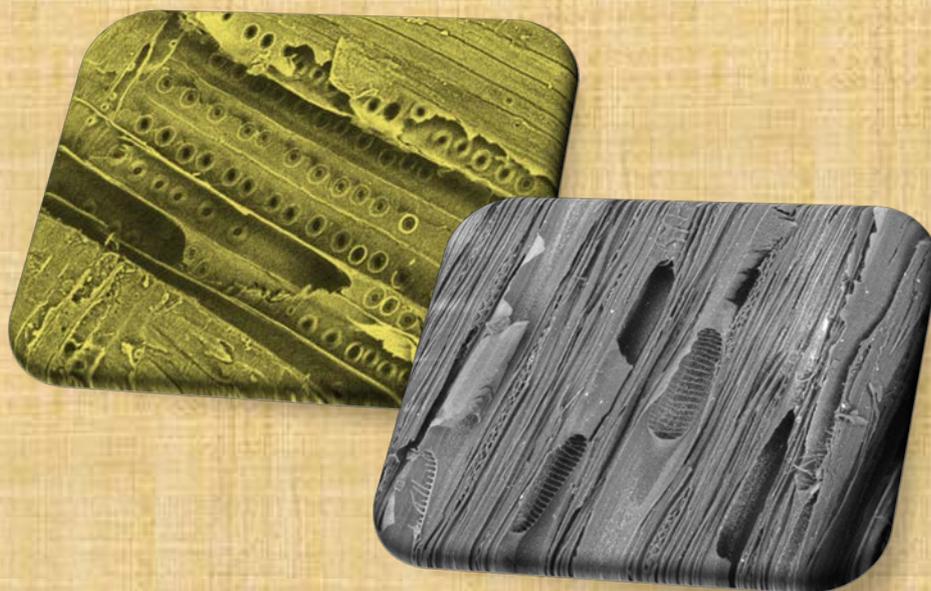
**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Н.Э. БАУМАНА
МЫТИЩИНСКИЙ ФИЛИАЛ**

**РЕГИОНАЛЬНЫЙ КООРДИНАЦИОННЫЙ СОВЕТ
ПО СОВРЕМЕННЫМ ПРОБЛЕМАМ ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЯ**

**СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ
ИМЕНИ АКАДЕМИКА М.Ф. РЕШЕТНЁВА**



СТРОЕНИЕ, СВОЙСТВА И КАЧЕСТВО ДРЕВЕСИНЫ – 2018



**СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК**

**ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
КРАСНОЯРСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
ИНСТИТУТ ЛЕСА ИМ. В.Н. СУКАЧЕВА**

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Н.Э. БАУМАНА
МЫТИЩИНСКИЙ ФИЛИАЛ**

**РЕГИОНАЛЬНЫЙ КООРДИНАЦИОННЫЙ СОВЕТ
ПО СОВРЕМЕННЫМ ПРОБЛЕМАМ ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЯ**

**СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ
ИМЕНИ АКАДЕМИКА М.Ф. РЕШЕТНЁВА**



СТРОЕНИЕ, СВОЙСТВА И КАЧЕСТВО ДРЕВЕСИНЫ – 2018

Материалы

**VI Международного симпозиума имени Б.Н. Уголева,
посвященного 50-летию Регионального Координационного совета
по современным проблемам лесоведения
10–16 сентября 2018 г., Красноярск**



НОВОСИБИРСК
ИЗДАТЕЛЬСТВО СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
2018

УДК 630
ББК 43+37.11
С83

СТРОЕНИЕ, СВОЙСТВА И КАЧЕСТВО ДРЕВЕСИНЫ – 2018: Материалы VI Международного симпозиума имени Б.Н. Уголева, посвященного 50-летию Регионального Координационного совета по современным проблемам древесиноведения (Красноярск, 10–16 сентября 2018 г.) – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2018. – 237 с.

WOOD STRUCTURE, PROPERTIES AND QUALITY – 2018: in honor of B.N. Ugolev. Proceedings of The 6-th RCCWS International Symposium dedicated to the 50th anniversary of the Regional Coordinating Council of Wood Science. Krasnoyarsk, September 10–16, 2018. Novosibirsk: FUE «Publishing House SB RAS» – 237 p.

В докладах участников Симпозиума представлены результаты исследований по основным направлениям древесиноведения – биологическому и техническому. По первому направлению представлен ряд докладов о влиянии условий произрастания деревьев – ботанико-географической приуроченности, условий плантационного лесовыращивания, густоты насаждения, гидротермического режима почвы, техногенного воздействия и т.п. – на базисную плотность, структуру годичного прироста, физико-механические, теплофизические, акустические и др. свойства древесины. Рассмотрены некоторые физиолого-биохимические вопросы ксилогенеза и адаптации древесных растений к неблагоприятным условиям среды; биоиндикационной способности сосны обыкновенной при оценке загрязненности территорий промышленными газопылевыми выбросами. Второе направление представлено докладами, посвященными развитию идей Б.Н. Уголева об эффекте памяти формы, усовершенствованию метода расчета напряженного состояния с учетом изменения влажности древесины и величины прикладываемой нагрузки. Обсуждаются современные тенденции в области термического модифицирования древесины, стандарты модифицирования; обсуждаются различные методы «активационной» обработки древесины, физико-химические свойства «активированного» древесного сырья и дальнейшее его использование в производстве новых материалов. В теоретических исследованиях рассматриваются вопросы использования лесных машин, сушки древесины, уточненные модели прессования древесины. В докладах участников Симпозиума предлагаются технологии эффективной утилизации биомассы деревьев при «быстрооборотном» плантационном выращивании; дается анализ возможностей (с оценкой экономической эффективности) создания нового процесса переработки древесины в продукты малотоннажной химической технологии. Ряд сообщений посвящен морфолого-анатомическому строению, химическому составу и способам утилизации древесной коры. Представлены доклады по проблеме биоповреждений древесины, деревянных строений и конструкций и способам их защиты.

В докладе д.т.н., профессора, академика ИАВС В.Г. Санаева – Председателя РКСД (Мытищинский филиал Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана) – освещаются основные события в истории развития отечественного древесиноведения и функционирование Координационного совета. Выделяются два периода его деятельности: красноярский (1968–1989) и московский, начиная с 1990 года.

Сборник представляет интерес для научных работников, специализирующихся в области биологического и технического древесиноведения, химии древесины, дендрэкологии и лесоведения, а также для инженеров, аспирантов и студентов соответствующих специальностей.

Ключевые слова: экологические, морфолого-анатомические, физиологические и биохимические аспекты ксилогенеза; дендрэкология, химические, физические, технологические и эксплуатационные свойства древесины; физические и физико-химические методы в исследованиях древесины; древесные материалы, изделия; биоповреждения, защита древесины, биотехнология; качество древесины, изделий и конструкций; стандартизация и сертификация.

Редакционная коллегия: Г.Ф. Антонова, В.Е. Бенькова, С.Р. Лоскутов, И.А. Михайлова, Н.В. Пашенова, А.В. Шашкин.

Симпозиум поддержан Российским фондом фундаментальных исследований,
грант № 18-04-20036

Напечатано по решению Оргкомитета Симпозиума

Материалы публикуются в авторской редакции

| | | |
|------------------|--|--|
| Спонсоры: |  <p>ООО «Красноярский городской центр озеленения» http://www.kgco.ru</p> |  <p>Кафе «Роща» https://кафешероша.рф</p> |
|------------------|--|--|

К 50-ЛЕТИЮ РЕГИОНАЛЬНОГО КООРДИНАЦИОННОГО СОВЕТА ПО СОВРЕМЕННЫМ ПРОБЛЕМАМ ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЯ (РКСД): СОХРАНЯЯ ТРАДИЦИИ, СОЗДАЕМ БУДУЩЕЕ

В.Г. САНАЕВ, Г.А. ГОРБАЧЕВА

Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Мытищи, Россия (rector@mgul.ac.ru,
gorbacheva@mgul.ac.ru)

В настоящее время, на пороге шестого технологического уклада, характеризующегося нацеленностью на развитие и применение наукоемких технологий – таких как био- и нанотехнологии, геновая инженерия, мембранные и квантовые технологии, фотоника, микромеханика, – традиционный строительный и поделочный материал, древесина, становится все более популярным и находит новые сферы применения. Для России как крупнейшей лесной державы, занимающей лидирующую позицию по лесопокрытой площади и вторую – по запасам древесины в мире, координация исследований, обмен информацией, продвижение совместных проектов в области наук о древесине являются крайне важными. Необходимость создания авторитетного научно-информационного центра назрела еще в 60-е гг. прошлого века. Расширяющаяся сеть исследовательских учреждений с древесиноведческой тематикой в СССР потребовала создания координирующего органа во избежание дублирования, недопустимого в условиях плановой экономики. Этот вопрос был обсужден в 1966 г. на совещании «Состояние и перспективы развития древесиноведения в СССР», проведенном НТО лесной промышленности в Московском лесотехническом институте, и в 1968 г. при Институте леса и древесины им. В.Н. Сукачева СО АН СССР в Красноярске был создан Координационный совет по современным проблемам древесиноведения. Первым председателем Координационного совета стал зам. директора по научной работе Института леса и древесины профессор Борис Степанович Чудинов – крупный древесиновед, внесший значительный вклад в развитие физики древесины, широко известный своими работами по влажностным и тепловым свойствам древесины. В разные годы в Координационный совет входили и принимали активное участие в его мероприятиях профессор Е.К. Ашкенази, В.А. Баженов, В.Е. Вихров, С.Н. Горшин, Я. Долацис, А.Я. Любавская, Ш. Мольнар, В.Е. Москалева, О.И. Полубояринов, Б.Н. Уголев, А.А. Яценко-Хмелевский и другие известные ученые. Координационный совет проводил ежегодные сессии на базе академических и отраслевых институтов, вузов в различных регионах СССР: Красноярске (1969, 1975, 1987), Москве (1970, 1971), Свердловске (1972), Воронеже (1973, 1981), Брянске (1975), Тбилиси (1976), Львове (1977, 1986), Петрозаводске (1978), Риге (1979), Йошкар-Оле (1980), Алма-Ате (1982), Таллине (1984), Архангельске (1985). В этот период советом были проведены три крупные древесиноведческие конференции: в Минске (1971), Воронеже (1981) и Красноярске (1987).

С 1990 г. Координационный совет был передан в ведение Госкомитета по науке и технике и начал функционировать при Московском лесотехническом институте (затем Московском государственном университете леса, ныне Мытищинском филиале МГТУ им. Н.Э. Баумана). Председателем был избран ведущий отечественный древесиновед с мировым именем – профессор Борис Наумович Уголев, который возглавлял совет до 2015 г. В московский период деятельности совета была продолжена практика регулярных ежегодных сессий и периодических более широких древесиноведческих форумов. В ноябре 1990 г. в Москве – Мытищах был проведен крупный симпозиум с международным участием, положивший начало циклу

международных симпозиумов «Строение, свойства и качество древесины». На I симпозиуме было заслушано 50 докладов ученых из Англии, Болгарии, Польши, России, Чехословакии, Швеции. В период перехода страны к рыночной экономике в развитии древесиноведения возникли определенные трудности. Практически исчезли профильные отраслевые институты, резко сократилась финансовая поддержка университетской и академической науки. В этих условиях важную роль играет Координационный совет, деятельность которого способствует консолидации отечественных исследователей древесины.



Рис. 1. Борис Степанович Чудинов
(1920–2004)



Рис. 2. Борис Наумович Уголев
(1925–2015)

В 1991 г. Б.Н. Уголев был избран академиком Международной академии наук о древесине (IAWS). При встрече с президентом IAWS проф. Т. Хигучи (Япония) была достигнута договоренность о том, что совет будет находиться под эгидой этой высокоавторитетной научной организации. Он приобрел статус межгосударственного Регионального координационного совета по древесиноведению (РКСД), в который входят ученые Белоруссии, Болгарии, Венгрии, Германии, Греции, Грузии, Латвии, Польши, России, Румынии, Словакии, Украины, Франции, Эстонии, Швейцарии. Членами Координационного совета являются ведущие древесиноведы вузов и академических институтов Москвы, Санкт-Петербурга, Архангельска, Брянска, Йошкар-Олы, Петрозаводска, Казани, Костромы, Воронежа, Екатеринбурга, Красноярска, Новосибирска, Братска, Якутска и других городов России. В совет входят академики РАН, IAWS, национальных академий, члены РАЕН и других академий, доктора и кандидаты наук.

В 1996 г. в МГУЛ был проведен II Международный симпозиум «Строение, свойства и качество древесины – 96». Традиционная тематика симпозиума была расширена в область фундаментальных дисциплин биологического профиля и прикладных дисциплин, которые касаются проблем формирования качества материалов, продуктов и изделий из древесины. Было представлено свыше 150 докладов. На заключительном пленарном заседании была принята программа перспективных исследований.

На сессии РКСД в 1997 г. в С.-Петербурге по инициативе члена РКСД – директора центра «Лесэксперт» А.К. Курицына было принято решение о формировании Реестра экспертов высшей квалификации в области древесиноведения, лесного товароведения и сопредельных технологических дисциплин. В последующие годы авторитет Реестра укрепился, расширилась его известность и состав. В ежегодно обновляемом Реестре теперь 120–140 экспертов.

Для лучшего взаимодействия в области древесиноведения между вузовской и академической наукой III Международный симпозиум «Строение, свойства и качество древесины – 2000» и очередная сессия РКСД были проведены совместно с Институтом леса Карельского научного центра РАН в Петрозаводске в сентябре 2000 г. На симпозиуме было представлено 117 докладов ученых из Грузии, Латвии, Польши, России, США, Украины, Финляндии, Франции. На симпозиуме был уточнен перечень перспективных направлений исследований в области древесиноведения и прикладных дисциплин, опубликованный в ежегодном бюллетене «Информация РКСД», который выпускается начиная с 2000 г.

Проведение таких представительных форумов, как симпозиумы РКСД, способствовало расширению международных научных связей отечественных древесиноведов. РКСД становится крупным научно-информационным центром, поддерживает контакты с более чем 20 зарубежными странами, способствует улучшению древесиноведческой подготовки специалистов. С 2004 г. он входит в структуру Учебно-методического объединения по образованию в области лесного дела.

IV Международный симпозиум РКСД «Строение, свойства и качество древесины – 2004» был проведен на базе С.-Петербургской государственной лесотехнической академии в сентябре 2004 г. В организации симпозиума приняли участие МГУЛ и БИН РАН. Симпозиум проходил в рамках конгрессной части IV Международного лесопромышленного форума. Традиционная тематика симпозиума, включающая проблемы фундаментального древесиноведения, была несколько расширена. Возросший авторитет РКСД и возможность привлечь внимание деловых кругов к научным проблемам привели к значительному увеличению количества участников. Было представлено 220 докладов из 25 стран Европы, Азии и Америки.

Важные события в жизни древесиноведческого сообщества произошли в 2009 году. Международная академия наук о древесине (IAWS) ежегодно проводит пленарные собрания и приуроченные к ним конференции в разных странах. В 2009 году, с 15 по 21 июня, такое важное для развития древесиноведения событие впервые произошло в России. Конференция «Лес как возобновляемый источник жизненных ценностей в изменяющемся мире», начавшая свою работу в СПбГЛТА, продолжилась в МГУЛ. Кроме этих вузов в организации конференции приняли участие Международный союз лесных исследовательских организаций (ИЮФРО), Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН и ряд других организаций. Значительная нагрузка при подготовке и проведении конференции легла на РКСД. В программный комитет конференции вошли ректоры вузов СПбГЛТА, МГУЛ, СПбГУРП и ряд видных ученых. Большую помощь в подготовке форума оказал экс-президент IAWS К. Деглиз (Франция), специально приехавший на заседание программного комитета. На конференции было представлено 129 докладов из 21 страны Европы, Азии, Америки и Африки. С целью популяризации и пропаганды современных достижений наук о древесине на пленарных собраниях IAWS читаются академические лекции. Академическая лекция председателя РКСД Б.Н. Уголева «Wood as natural smart material» была посвящена древесине как природному интеллектуальному материалу. 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, его активное участие в мероприятиях академии и выдвижении российских ученых в члены IAWS. Проф. Б.Н. Уголев был награжден медалью Международной академии наук о древесине (IAWS) за выдающиеся достижения в области древесиноведения «IAWS — Distinguished Service Award» в 2015 г.

V Международный симпозиум РКСД «Строение, свойства и качество древесины – 2014» был проведен в сентябре 2014 г. в МГУЛ. На симпозиум было представлено 68 докладов преподавателей, научных сотрудников и аспирантов из университетов и научных центров Белоруссии, Болгарии, Германии, Греции, Грузии, Латвии, России, Румынии, Словакии, Украины, Швейцарии.

РКСД использует возможности широкого обмена древесиноведческой информацией путем участия в организации конференций и симпозиумов по смежной тематике, таких как Всероссийская конференция «Дендрэкология и лесоведение», посвященная 50-летию СО РАН (Красноярск, 2007 г.), научные чтения «Структурно-функциональные исследования растений в приложении к актуальным проблемам экологии и эволюции биосферы» (С.-Петербург, 2009), Международная конференция «Структурные и функциональные отклонения от нормального роста и развития растений под воздействием факторов среды» (Петрозаводск, 2011), I и II Международная научно-техническая конференция «Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса» (Кострома, 2012, 2015 гг.), Международная научно-практическая конференция «Экологобезопасные ресурсосберегающие технологии обработки древесины» (Киев, Украина, 2013), I Международная научно-практическая конференция «Современные проблемы биологического и технического древесиноведения» (Йошкар-Ола, 2016), Международная научно-практическая конференция «Экологические аспекты использования древесины как природного возобновляемого ресурса», посвященная Году экологии в России (Мытищи, 2017).

В московский период деятельности РКСД провел выездные сессии и семинары в Москве и Московской области (1990, 1996, 1999, 2001, 2005, 2006, 2008, 2017 гг.), Санкт-Петербурге (1991, 1997, 2004, 2011 гг.), Петрозаводске (1992, 2000 гг.), Красноярске (2007 г.), Воронеже (1993, 2010 гг.), Йошкар-Оле (1995, 2016 гг.), Брянске (2002 г.), Костроме (2003, 2012, 2015 гг.), Киеве (2013 г.). Деятельность Координационного совета отражена в ежегодных бюллетенях «Информация РКСД» и монографии Б.Н. Уголева «Исторические вехи отечественного древесиноведения» [2].

В 2015 г. древесиноведческое сообщество понесло невосполнимую потерю. Не стало председателя РКСД, 25 лет возглавлявшего это авторитетное сообщество, академика IAWS Бориса Наумовича Уголева – выдающегося ученого, талантливого педагога и организатора, более 70 лет своей жизни посвятившего служению науке и важному делу подготовки специалистов лесного профиля. Достоинно продолжая традиции своих учителей Л.М. Перельгина, П.С. Серговского, Б.М. Буглая, он целеустремленно и увлеченно работал в науке. Вклад Б.Н. Уголева и его научной школы широко известен. Реология, сушильные напряжения, неразрушающие методы контроля и другие проблемы физики и механики древесины представляют области интересов Б.Н. Уголева, положивших начало плодотворно развиваемым научным направлениям. В последнее время его занимали проблемы, связанные с деформационными превращениями древесины; замороженные деформации; гигроусталость и особенно обнаруженный им еще в 80-е гг. «эффект памяти древесины». Обладая удивительной научной прозорливостью, он предвосхитил

появление новых научных направлений на основе междисциплинарного подхода к изучению древесины [1]. В память об ученом было решено присвоить ставшему традиционным форуму древесиноведов новое название: «Международный симпозиум имени Б.Н. Уголева «Строение, свойства и качество древесины». Новым председателем РКСД единогласно был избран ректор МГУЛ, акад. IAWS, проф. В.Г. Санаев.

Отмечая полувековой юбилей совета на родине РКСД – гостеприимной красноярской земле, мы с надеждой смотрим в будущее. Ведущие ученые, преподаватели, молодые исследователи и аспиранты из Венгрии, Германии, Италии, России, Турции, Финляндии, Франции, Швейцарии представили доклады на симпозиум. Участие маститых и молодых ученых, многоцветная палитра тематики докладов, возможность приобретения партнерских и дружеских контактов, интересных дискуссий и конструктивного обмена мнениями, новыми идеями, научными результатами, практическим опытом дают основание полагать, что симпозиум станет заметным событием в развитии древесиноведения. Достойное продолжение заложенных традиций, сохранение преемственности, дальнейшее укрепление связей с международными научными и образовательными организациями будут способствовать расширению диапазона и глубины фундаментальных и прикладных исследований уникального природного функционального материала – древесины.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Санаев В.Г., Обливин А.Н., Горбачева Г.А.* Памяти Бориса Наумовича Уголева. ИВУЗ. Лесной журнал. 2015. № 6. С. 164–167. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2015.6.164.
2. *Уголев Б.Н.* Исторические вехи отечественного древесиноведения и взгляд в будущее. Москва: Изд-во ФБГОУ ВПО МГУЛ, 2014.

FOR 50TH ANNIVERSARY OF THE REGIONAL COORDINATING COUNCIL OF WOOD SCIENCE (RCCWS): KEEPING THE TRADITION, CREATING THE FUTURE

V.G. SANAEV, G.A. GORBACHEVA

Mytishchi branch of MSTU named after N.E. Bauman, Mytishchi, Russia (rector@mgul.ac.ru, gorbacheva@mgul.ac.ru)

The Regional Coordinating Council of Wood Science (RCCWS) was founded in 1968 at Sukachev Institute of Forest SB RAS in Krasnoyarsk (President – Prof. B.S. Chudinov). Since 1990 it has been functioning at Moscow Forest Technical Institute (then Moscow State Forest University, at present Mytishchi Branch of BMSTU, Mytishchi) (from 1990 to 2015 President Prof. B.N. Ugolev). The article presents the history of RCCWS, goals and activities, perspectives and a look into the future.

UTILIZATION OF BIOMASS FOR SHORT ROTATION PLANTATIONS

I. CZUPY, A. VÁGVÖLGYI

University of Sopron, Hungary (czupy.imre@uni-sopron.hu)

Hungary plans to increase the ratio of renewables in energy production up to 14.65 % by the year of 2020. The country's renewable energy utilization action plan sets the effective exploitation of the domestic biomass potential as an important target. Fig. 1 summarizes the different types of biomass and their relative proportion in Hungary.

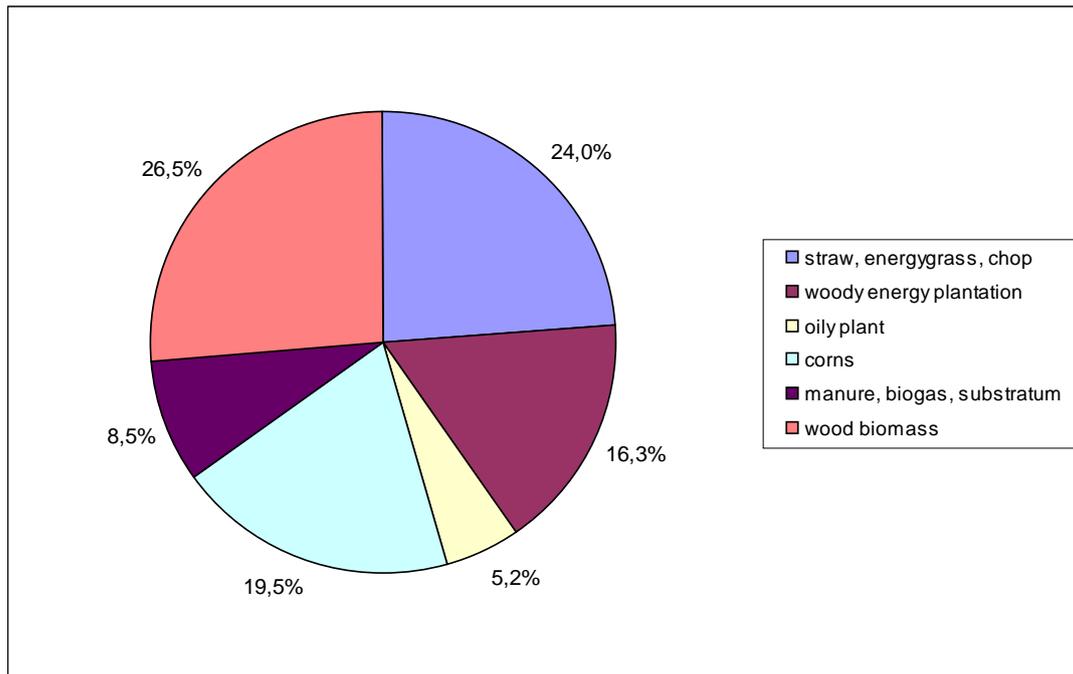


Fig. 1. Types and proportion of biomass in Hungary, (%)

Fig. 1 shows that woody energy plantations take an important place in the national biomass productions. These can be either

- short-rotation energy tree plantations (characteristics: 1–2 (3) years of rotation; relatively thin (1–5 (10) cm) stem diameter; one-step harvesting with e.g. a mobile chipper);
- long-rotation (roundwood-producing) energy tree plantations (characteristics: 3–5 (10) years of rotation; thicker stems (10–15 (20) cm diameter); usually multi-step harvesting). [1].

From the standpoint of energetics, significant importance can be attributed to the following resources too:

- The underwood level of flood plain forests, which provides wood with a quality similar to that of short-rotation (thin stem producing) energy tree plantations. These stands are row-independent for not having been afforested artificially;
- The felling byproducts of regular forests. The collection of these byproducts has not yet been solved satisfyingly, however [2].

METHOD AND AIMS OF RESEARCH

In our research and development activity we have defined and systematized the actions and the corresponding machinery for the cultivation technology of energy tree-plantations. This is summarized in the tab. 1.

Table 1. The actions and the corresponding machinery required in the cultivation technology of energy tree-planting

| Action | Aim and characteristics of the action | Machinery |
|--|--|--|
| Site-preparation: - landscaping - bushwhacking - chemical weed control | Making the surface suitable for the preparation of the soil Elimination of ground irregularities Cutting out bushes and shrubs Clearing away non-woody plants | Push blade Stem crusher Sprayer |
| Preparation of the soil - Deep ploughing (25–50 cm) - Deep turning (50–70 cm) - ground surface finishing | Implementing optimal physical state for the soil Rotation of the soil Rotation of the soil Pounding of clods, grading the surface of the soil | Deep plough, subsoiled Trench plough Tiller, land plane, harrow |
| Sowing | Sowing black locust seeds | Sower |
| Planting of saplings | Planting saplings of black locust and domestic poplar species. | Tree-planting machine |
| Propagation by cuttings | Propagation of hybrid poplar clones and willow by cuttings, besides the plantation of hybrid poplar clones and willow by canes | Cutting machine, sapling-planting machine, hole-digger |
| Cultivation: - mechanical soil tending - mechanical weed control - chemical weed control | Ensuring optimal conditions for the species of the energy tree-plant Loosening of the soil, weed control Weed control Weed control, destruction of insects | Tiller, cultivator, forestry soil loosener Stem crusher Sprayer, grouting machine |
| Harvesting: - one-step harvesting - multi-step harvesting | Production of chips suitable for combustion Production of wood chips by mobile chipping Chipping by one of the following series of actions: - felling-chipping, - felling-harvesting-chipping, - felling-bunching-transport of bunches-chipping | Mobile chipper Brushcutter, chainsaw, feller, harvester, buncher, chipper, hydraulic crane trailer, |
| Transport of wood chips | Transport of the chips between the production site and the power plant | Lorry, trailer |
| Transport of bunches | Transport of the bunches between the production site and the chipping site | Hydraulic crane trailer, forestry truck, trailer |
| Winding up the plantation: - grubbing - root cutting - trench ploughing (50–70 cm) - finishing of the ground surface | Making the site suitable for the field growing of plants. Rooting up of tree trunks Cutting out of the roots Ploughing up the soil Pounding of clods, grading the surface of the soil | Chock grapple, stem chipper Root cutter Trench plough Tiller, land plane, harrow |

We have concluded that regarding the actions of the cultivation technology of energy tree plantations site-preparation, preparation of soil, sowing, planting of saplings, cultivation, transport of wood chips, transport of bunches and winding up the plantation can all be accomplished using the appropriate and subsistent agricultural and forestry machinery. It is necessary however that the right type and scale of machinery, fitting best the requirements be chosen. Essential developments need to be realized in the mechanization of the propagation and harvesting.

In the energy balance of plantations biomass production we compare the energy input of the machines (the energy amount of fuel consumed by them during operation) with the energy output of the wood obtained during the process. The technology depends on the size of the area. At the energetic use of biomass and by determining its energy balance we examine the model on fig. 2 (for example area size: over 20 hectares):

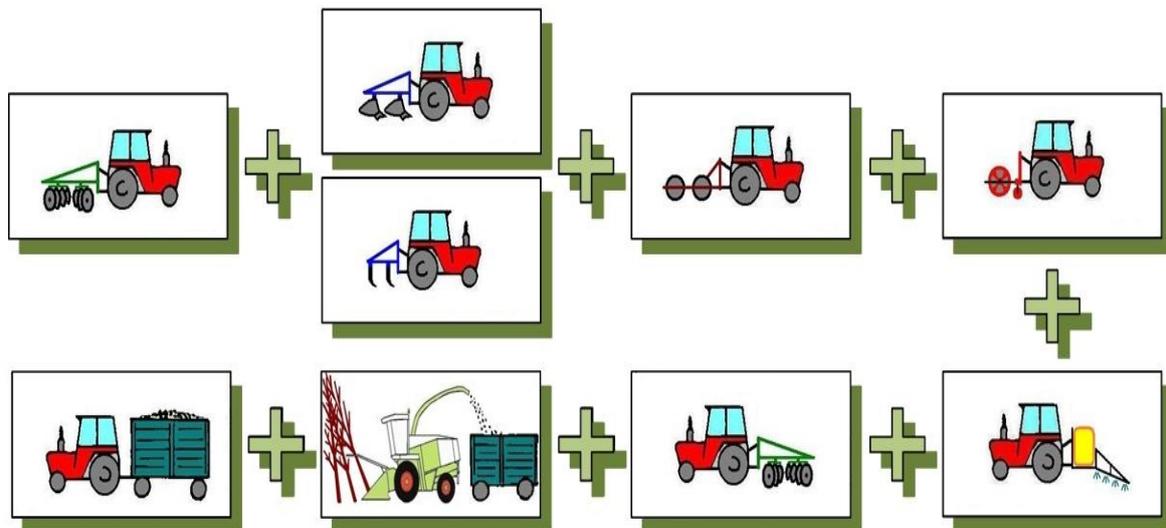


Fig. 2. Models of energetic use of plantation biomass (area size: over 20 hectares)

We take the result of the model calculation as the average value, so the models will give an example for the energy balance calculation of factual cases in practice. We do not take the energy demand of living labour in consideration at the calculations. The biomass is utilized thermally in air-dry condition however we do not take the energy for drying into consideration because that can be done naturally as well [3].

Data for model are the following:

- calorific value of diesel fuel: 43 MJ/kg;
- calorific value of gasoline: 44 MJ/kg;
- specific consumption of internal combustion engine: 260 g/kWh;
- moisture content of biomass: 60%;
- calorific value of biomass: 7 MJ/kg (at the moisture content above);
- biomass density: 600 kg/m³;
- cutting cycle: 2 years;
- the duration of maintaining plantation: 20 years;
- the yield of the plantation: 20 t/ha/y;
- area size: 1 ha.

The energy input of the model is shown in tab. 2.

Table 2. Energy input of model

| Művelet | Machine performance [kW] | Number of occasions | Time demand [h/ha] | Energy input [MJ/ha] |
|----------------------|--------------------------|---------------------|--------------------|----------------------|
| Soil preparation | 125 | 2 | 0.37 | 1028 |
| Plowing | 125 | 2 | 2.27 | 6306 |
| Fertilizer spreading | 125 | 12 | 0.12 | 2000 |
| Seedbed preparation | 125 | 1 | 0.25 | 347 |
| Planting | 125 | 1 | 1.00 | 1389 |
| Grooming | 125 | 42 | 0.37 | 21584 |
| Weed control | 125 | 20 | 0.37 | 10278 |
| Harvesting | 300 | 10 | 0.69 | 23000 |
| Transporting (15 km) | 125 | 10 | 0.36 | 5000 |
| Stumping | 132 | 1 | 3.00 | 4400 |
| Total | | | | 75300 |

Energy output with the above data is 2 800 000 MJ/ha. Based on the abovementioned the energy balance of model is:

$$\text{input/output} = 1/37$$

so by investing one unit of energy 37 units can be obtained.

CONCLUSION

In this paper we summarized the different machines and methods used for forestry biomass production and we set up a mechanical energy balance for the models of using biomass for energy production. We determined that the invested energy unit multiplies so these processes are energy efficient.

ACKNOWLEDGMENTS. The described article was carried out as part of the „Sustainable Raw Material Management Thematic Network – RING 2017”, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 project in the framework of the Széchenyi2020 Program. The realization of this project is supported by the European Union, co-financed by the European Social Fund.

REFERENCES

1. *Czupy I., Vágvölgyi A., Horváth B.* The Biomass Production and its Technical Background in Hungary In: Proceedings of 45th International Symposium on Forestry Mechanization: "Forest Engineering: Concern, Knowledge and Accountability in Today's Environment". Dubrovnik; Cavtat, Horvátország, 2012. 10.08–10.12. Zagreb: University of Zagreb. Pp. 1–9. ISBN:978-953-292-025-3.
2. *Horváth Z. S., Marosvölgy, B., Idler C., Pecenka R., Lenz H.* Storage problems of poplar chips from short rotation plantations with special emphasis on fungal development. In: Acta Silv. Lign Hung. 2012. Vol. 8. Pp. 123–132.
3. *Jun L.* Electricity production based on firewood and decentralized heating plants from the point of view of forestry. Scientific results in practice, Research Day of Alföld Forests Association, Szolnok, 2010. Pp. 11–15.

BLACK LOCUST (*ROBINIA PSEUDOACACIA* L.) RESOURCES FOR DEGRADED AREA: PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL RESPONSES TO DROUGHT

S. MAPELLI¹, M.E. MALVOLTI²

¹Institute of Agricultural Biology and Biotechnology, CNR, Milan, Italy (mapelli@ibba.cnr.it)

²Institute of Agro-Environmental and Forest Biology, CNR, Porano, Italy (malvolti@ibaf.cnr.it)

Among the fast growing deciduous trees, black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) is the third after eucalyptus and hybrid poplars to be used in forest stand establishment and artificial reforestations. Black locust is characterized by a dense and highly branched root system, which enables it to successfully exploit nutrients and water resources of the soil, excellent ability to fix free atmospheric nitrogen, high vitality and seed production. Its rapid spread has been promoted by increasing demands for the afforestation of neglected agricultural lands, by the necessity to fix loose shifting sands and by the possibility to use its wood for tool manufacture, fuel and poles [7, 8]. In several countries it is an economically important tree and as a result *Robinia* has become a part landscape, nature, culture and economics, including cultural and historical heritage, as it is mentioned in songs, poems, literature and culinary recipes. Despite this, the attempts to list *Robinia* among the invasive alien species of EU concern a public debate among various interest groups initiated, and individual States depending on the context may take measures against black locust or include it among the invasive alien species [10].

In spite of this wide spread, knowledge on genetics, physiology and wood quality of black locust are very few. Some works are available about the most important variables influencing black locust tree growth and wood formation: temperature, light, mineral nutrition, age [2, 3, 6]. A clonal selection was started in the sixties in Hungary [3]. Selection works mostly aimed to improve the wood production in black locust stands, but knowledge concerning genetic variability and adaptability of the selected material to unfavourable environmental conditions are limited. Studies on relationships between genetic polymorphism and phenotypic variation [1, 4, 5, 9] may be useful for genetic improvement programmes. At present, no or few data are available for *Robinia* concerning relationships between physiological, biochemical, genetic traits and adaptability to different ecological conditions. Consequently, the possibility of extending black locust stands to difficult areas for water availability and poor soil quality, using selected material, has been limited so far.

Aim of this study is to cooperate in characterization *Robinia pseudoacacia* L. trees suitable to reforestation of degraded lands in unfavourable environments. Studies of drought effect on physiological and biochemical adaptation was done comparing two black locust clones that showed different responses to the environmental drought.

From *Robinia pseudoacacia* trees of about 30-35 years old, growing in repository experimental station, on early March root cuttings of the of selected clones (CLONE 1 and CLONE 2) were cut. They were cultivated in 0,5 l containers with a mixture of sand and garden soil (2:1) initially in greenhouse and subsequently in open field. At end of June, rooted cuttings had give shoots of about 0,2–0,3 m tall and young plants were transplanted to 20 l pot containing a mixture of sand and garden soil (1:1). Plants were kept in the open field experimental station to acclimate under no limiting water conditions. Once a week, plants were fertilised with a commercial liquid fertiliser added to the irrigation water. Plants were also preventively treated with chemicals against pest attacks and diseases. Average total stem height passed from 0,2–0,3 m to 1,0–1,2 m in 45 days In August, selected for uniformity, plants were divided into 3 groups named: Control (C), Medium Stress (MS) and High Stress (HS). MS and HS plants were provided of a rain shelter to avoid the rain to interfere on the imposed watering regimes. The Control plants were kept well watered during the entire

duration of the experimental period replacing the amount of transpired water, which was measured gravimetrically on sample plants (three pots for each clone). To MS-plants at each irrigation was provided 50 % of water of C plants, to HS the 25 % of C-plants transpired water was supplied. Plants were watered every 2-3 days according to the weather conditions. During the experiment, measurements of leaf water potentials, net photosynthesis, stomatal conductance and transpiration were ran on days before stress imposition and during drought stress period.

Linear variable differential transducers (LVDT) were fixed to the tree stems to evaluate trunk diameter growth. The LVDT were connected to a datalogger with data sampling every 15 minutes. LVDT and datalogger resolutions give measurement accuracy equivalent to 0,1 μm of the tree stem movement.

During the period of drought stress treatment leaves, stems and roots were collected. At each sampling time three plants for each treatment (C, MS and HS) were de-potted, root washed and cut in roots leaves and stems, all tree parts were immediately frozen for the analyses of osmotic components. Frozen materials were lyophilized, grinded and extracted with water or other suitable solvent when necessary. Osmotic potential, pH, chlorophyll, reducing sugars, sucrose and amino acid have been determined with standard methods.

In August leaf samples of CLONE 1 and CLONE 2 black locust trees has been collected in repository experimental plantation from either 30–35 years old mother trees an 3 years old trees. Dried material were used for osmotic potential determination.

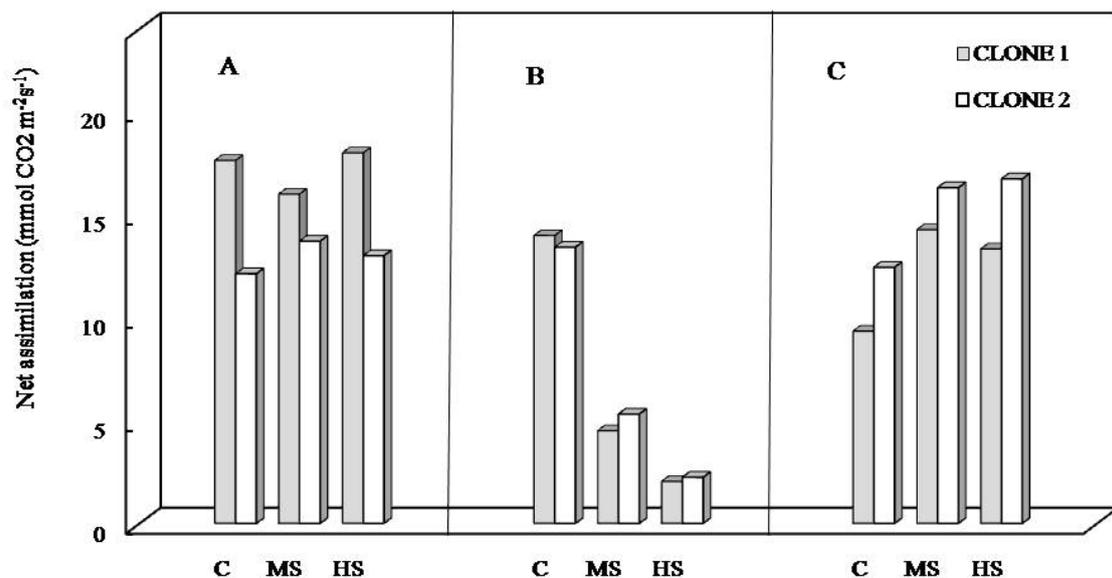


Fig. 1. Carbon dioxide assimilation at beginning of drought period (A), after 12 days of stress (B) and after a week of rewatering (C)

Almost 15 days of water stress affected negatively the growth of both black locust clones, with some differentiation in stem dimensions between C plants and stressed plants (MS and HS treatments). The stem radial growth gave similar response for the two clones. When the drought has been imposed (day 216, 4th August), with two different level of replacing the water transpired by leaves, the effect on radial stem increase was evident with different intensity, consequence of different soil drought levels. The severe drought blocked the stem growth in few days. At day 244 (1st September) all trees has been rewatered and the stem of droughty trees showed a recovery of different amplitude in relation to the drought degree previously applied. The two clones do not evidenced wide differences in the rate of

growth and sensitivity to the drought. This does not fit the observation made during long period in experimental station, that indicated the CLONE 1 as more sensitive to drought than the CLONE 2, because of the minor increasing and total size of trunk diameter.

Control and high drought stressed trees of the 2 clones were monitored during following winter and next spring season. The breaking of the was at 9–10 March in CLONE 2 and one week later in CLONE 1. The stem radial growth started to increase and a slow increasing rate has been measured on CLONE 1 trees subjected to drought in the previous year.

In Figure 1A net photosynthesis rate at the beginning of drought period of the two clones are presented. Figure 1B shows data of the two clones during stress period (12th stress day). These data do not show any substantial difference between the two clones under drought conditions. In the Figure 1C carbon dioxide assimilation after rehydration is reported, both clones are able to recover photosynthesis to control level. The data of water transpiration measured under optimum watering conditions showed that CLONE 1 keeps stomata more open giving higher transpiration, and consequently an higher plant water loss.

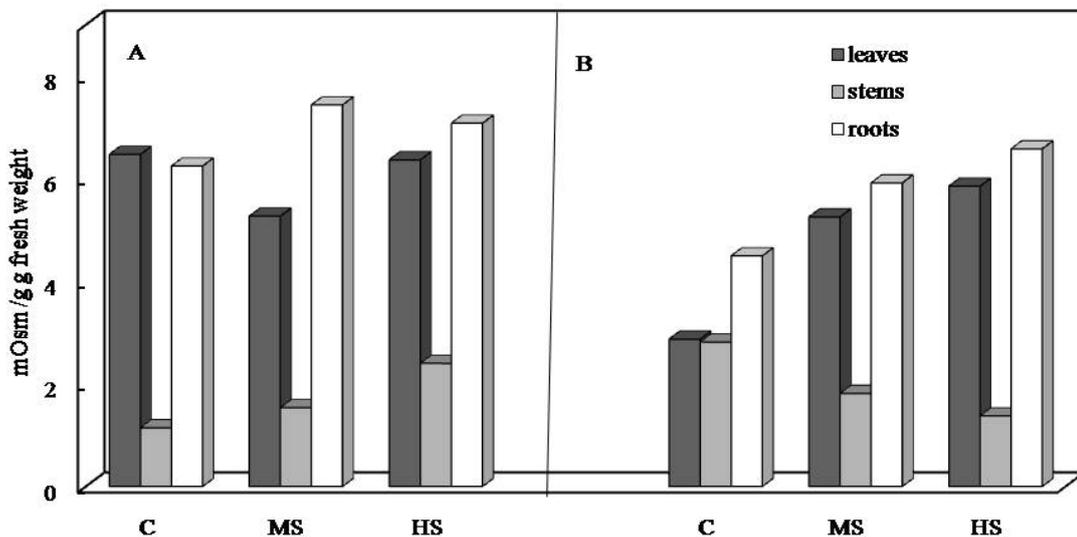


Fig. 2. Comparison of osmotic potential in control and drought stress robinia trees measured after 28 days of controlled stress conditions. A = CLONE 1, B = CLONE 2

The osmotic potential of CLONE 1 and CLONE 2 samples is shown in Figure 2. The leaves and root of CLONE 1 do not show differences in osmotic potential comparing to control, medium or high stressed trees. The CLONE 2 samples show an increasing osmotic potential and increasing stress intensity. To note that the maximum potential measured in CLONE 2 drought leaves is comparable to the osmotic value measured in control leaves of CLONE 1. So, the absence of total osmotical increasing in stressed CLONE 1 could be due either to the absence of adaptive mechanism or the high osmotic potential in control that is already too high to be increased more by drought condition.

The analyses of the substances that are part of several osmotical components has been carried out. In both clones determination of total amino acids showed increased concentration due to drought. Furthermore, the proline (widely considered as amino acid stress marker) content increases also in both clones during drought condition. These data indicate that both clones react to stress increasing amino acids concentration, proline increased to up 50% of the total free amino acids. The determination of total soluble sugars (sucrose plus reducing sugars) indicate no general significant increasing during the stress period in both clones comparing the level in the control samples. Only in the stem of CLONE 2 increasing of

soluble sugars, essentially due to sucrose only, has been measurable. However, the analyses carried out did not explain what are the components of high osmotic potential measured in control trees of CLONE 1. Further analysis will be developed considering other carbohydrates (fructan, threolose), organic acids as possible osmolytes.

Table 1. Osmotic potential measured in leaves of 30–35 year old and 3 year old CLONE 1 and CLONE 2 trees (mOsm/g fresh weight)

| | 30–35 years old trees (n of samples = 21) | 3 years old trees (n samples = 36) |
|---------|--|---------------------------------------|
| CLONE 1 | 2,016 ± 0,04542 | 2,358 ± 0,03239 |
| CLONE 2 | 3,149 ± 0,03584** | 3774 ± 0,05942** |

** significant different at P < 0.05

Considering the wide differences in osmotic potential (see Fig. 2) measured between CLONE 1 and CLONE 2 control trees used for experiment, leaves from large number of 3 and 30-35 years old trees has been collected in repository experimental station in order to subject them to osmotic measures and evaluate the statistical significance between the two clones. The tab. 1 reports that the two clones have significant difference in osmolite concentration. The differences between CLONE 1 and CLONE 2 are not wide as in control well watered trees of potted trees potted trees in controlled condition. However, in August in open field, as is the experimental station, medium drought environmental condition was present. Thus the differences between the two clones became lower because trees were under some degrees of water stress and the different osmotic value can be considered as possible index of different adaptability to drought environment. The data indicate that different osmotic potential and its changes as capacity to adapt during drought condition can be one of the causes of difference in trunk growth and accumulation of wood during tree life. Selection of clones by osmotic potential index could help to decide the better clone for different environmental climate zones.

REFERENCES

1. *Cheverud J.M.* Quantitative genetics and development constraints on evolution by selection // *J. Theor. Biol.* 1984. 110 (2): 155–171.
2. *Hillinger C., Holl W., Ziegler H.* Lipids and lipolytic enzymes in the trunkwood of *Robinia pseudoacacia* L. during hartwood formation // *Tree*. 1966. 10 (6): 366–375.
3. *Keresztesi B.* (ed.) *The Black Locust* // Akademiai Kiadó. Budapest, 1988. Pp. 197.
4. *Lande R.* The genetic correlation between characters maintained by selection linkage and inbreeding // *Genet. Res.* 1984. 44 (3): 309–320.
5. *Malvolti M.E., Fineschi S., Pigliucci M.* Morphological integration and genetic variability in *Juglans regia* L. // *J. Hered.* 1994. 85 (5): 389–394.
6. *Mebrathu T., Layne D.R., Hannover J.W., et al.* Net photosynthesis of black locust seedlings in response to irradiance, temperature and CO₂ // *Photosynthetica*. 1993. 28: 45:54.
7. *Redei K.* (ed.) *Black locust growing in Hungary* // Forest Research Institute, Budapest, 1996. Pp. 37.
8. *Rédei K., Csiha I., Keseru Z., et al.* Growth and yield of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) stands in Nyírség growing region (North-East Hungary) // *South-East Eu. For.* 2014. 5(1): 13–22.
9. *Schlichting C.D.* The evolution of phenotypic plasticity in plants // *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 1986.17: 667–693.
10. *Vítková M., Müllerová J., Sádlo J. et al.* Black locust (*Robinia pseudoacacia*) beloved and despised: A story of an invasive tree in Central Europe // *For. Ecol. Manag.* 2017. 384: 287–302.

WOOD MODIFICATION RELATED RESEARCH AT THE UNIVERSITY OF SOPRON

R. NÉMETH¹, M. BÁDER², J. ÁBRAHÁM³, F. FODOR⁴, N. HORVÁTH⁵, M. BAK⁶

¹ University of Sopron, Sopron, Hungary (nemeth.robert@uni-sopron.hu)

² University of Sopron, Sopron, Hungary (bader.matyas@uni-sopron.hu)

³ University of Sopron, Sopron, Hungary (jozsef.abraham@uni-sopron.hu)

⁴ University of Sopron, Sopron, Hungary (fodor.fanni@phd.uni-sopron.hu)

⁵ University of Sopron, Sopron, Hungary (horvath.norbert@uni-sopron.hu)

⁶ University of Sopron, Sopron, Hungary (bak.miklos@uni-sopron.hu)

INTRODUCTION

Wood is recognised as the most important of the renewable base materials with the added advantage of being recyclable and CO₂-neutral. But wood is a biodegradable material. Many traditional protection treatments currently exist to prevent these deteriorations, but often they are based on toxic materials. The aim is to get better performance from the wood, resulting in improvements in dimensional stability, decay resistance, weathering resistance, etc. Wood modification in different ways dates back decades at the University of Sopron (Simonyi Károly Faculty of Engineering, Wood Sciences and Applied Arts, Institute of Wood Science). Wood modification processes indicate continuously new challenges. During the last years, special attention was given to heat treatment processes in different media, acetylation, densification or compression perpendicular and parallel to the grain and some impregnation processes. The application possibility of nanoscale materials in wood industry was also investigated.

HEAT TREATMENT IN GASEOUS ATMOSPHERES

The institute possesses a programmable heat treatment chamber in which it is possible to treat a maximum 60 cm long samples. In this electric heated equipment, which is supplied with ventilators and control panels, heat treatment is executable in normal atmospheric air. Due to the elaborated schedules and experience, the good quality of heat-treated wood is secured. In 2010, a combined heat treatment-steaming equipment of 0,5 m³ capacity was purchased. This autoclave is suitable for heat treatments up to 250°C temperature in vacuum, inert gases and steam. Investigated wood species so far: oak, turkey oak, black locust, poplar, hornbeam, beech, maple, pine and spruce. As a result of the treatments, durability was improved remarkably and swelling decreased as well. By means of heat treatments, exotic and



Fig. 1. Flooring elements with heat-treated oak, turkey oak, beech and ash top-layer (left to right)

homogeneous colour can be achieved in whole cross-section of the wood. This property was very useful in case of the production of flooring elements from the heat-treated material (fig. 1). Besides the favourable properties, the bending, tensile (20–40 %) and impact bending strength (30–70 %) decreased considerably. However, hardness and compression strength increased slightly.

HEAT TREATMENT IN DIFFERENT FLUIDS

Efficiency of heat treatment processes depends on the rate and regularity of the heat growth in the wood, and on the reduction of oxidative processes in order to avoid unreasonable decomposition. Heat treatment in vegetable oils can be a solution for these problems. Wood was heat treated in rapeseed-, linseed- and sunflower oil at 160–200 °C (fig. 2). Swelling properties decreased by 20–60 % and strength decreased less than in case of heat treatment in a gaseous atmosphere. Colour changes were similar to heat treatments in a gaseous atmosphere. Further advantage of a heat treatment in vegetable oils is the short treatment time (up to 6 hours including drying in case of a 25 mm thick poplar board). However it has to be noted, that for example in case of black locust, which has a practically



Fig. 2. Colour change of poplar wood due to different heat treatment schedules in linseed oil

impermeable structure, longer treatment times are needed to avoid cracks and deformations [1]. With applying paraffin as heat treatment medium instead of vegetable oils, similar results can be achieved as well as moisture uptake decreased further because of the thin paraffin layer on the surface [2].

THERMO-HIGRO-MECHANICAL (THM) TREATMENT OF WOOD

In terms of each product, often only one property is important to be suitable for the requirements. In case of poplar wood, indoor use surface hardness is the property which limits the utilization. The goal in this case was to produce a material with low density and high surface hardness. With Thermo-Hygro-Mechanical treatment (fig. 3) – using heat, steam and compression on wood –

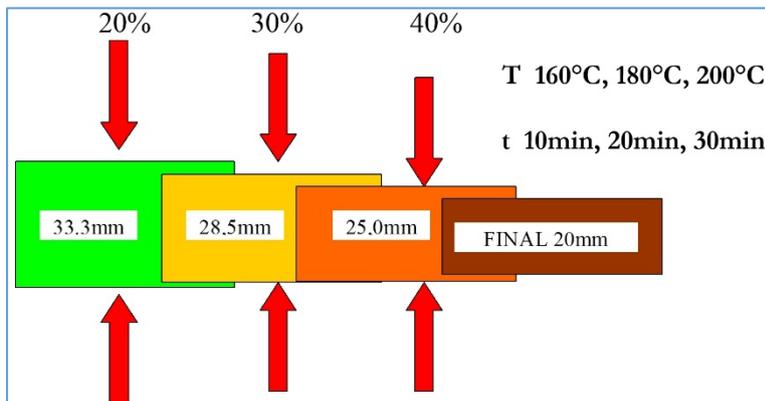


Fig. 3. Parameters of different THM process schedules

hardness of poplar wood can be increased from very low 10 N/mm² to 22 N/mm². With 30 % compression of poplar wood, hardness increases by 120 % and reaches hardness of maple wood, which is a popular wood species of flooring production. Besides the improved surface hardness, wood colour became brown in 2–3 mm depth [3].

ACETYLATION OF WOOD

One of the most common chemical modification processes is acetylation, which changes –OH groups in wood to acetyl-groups. Our first investigations were focussing on black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) and poplar (*Populus × euramericana* cv. Pannonia). The swelling of poplar wood decreased by 70 %, besides that the mechanical properties remained unchanged. Black locust cannot be effectively treated due to the small penetration depth caused by its tyloses. However, as veneer or flake, good result can be achieved (e.g. production of weather resistant panels). Treated material typically loses colour but with appropriate surface finishing it can be deepened. Acetylated wood has pungent smell for a

long time (evaporation of acetic acid), furthermore when applying hinges increased corrosion rate has to be taken into account.

As a next step, hornbeam (*Carpinus betulus* L.) wood was acetylated in cooperation with Accsys Technologies (the Netherlands) [4]. The results are promising, as the equilibrium moisture content and fibre saturation point decreased by 58 % and 33 % respectively, beside a slight increase in the density (4–15 %, depending on the moisture content state). As a result of that, shrinkage decreased remarkably as well. The decrease was ~80 % in radial and tangential directions, and ~60 % in longitudinal direction. Weight loss by decaying fungi decreased by 95–98 % as a result of acetylation, this means that the weight loss by three types of fungal decay was below 1 %.



Fig. 4. Colour change as a result of acetylation on hornbeam wood (left: untreated; right: acetylated)

Usually acetylation has a slight effect on wood colour as well, which can be darkening or brightening. It depends usually on the initial colour and the WPG, that means light coloured woods become slightly darker, while dark coloured woods become slightly lighter. Similar results were found for acetylated hornbeam as well, as a slight darkening was observed as a result of acetylation (fig. 4).

COMPRESSION PARALLEL TO THE GRAIN

Longitudinally compressed wood can be bent easier and in smaller radius compared to steamed wood. The method can be used mostly for high-density hardwoods. Another advantage is that longitudinally compressed wood can be kept cold for longer time in bendable state, therefore it is storable. This material can be used primarily in interior design and in the furniture industry. During the modification process, the normally smooth cell walls deform, buckle and finally seem like a half-closed concertina on the microscope images (fig. 5). Therefore this method can be called «pleating» [5]. The pleating and also the bending process needs high-quality hardwood raw material. Before the compression procedure, the wood has to be plasticized, practically with steaming. The compression rate is 15–25 % of the original length. The sample can be held compressed for a while, this period is called relaxation. Relaxation also increases the bendability of the wood. After longitudinal compression and relaxation, the shortening of the samples increases.

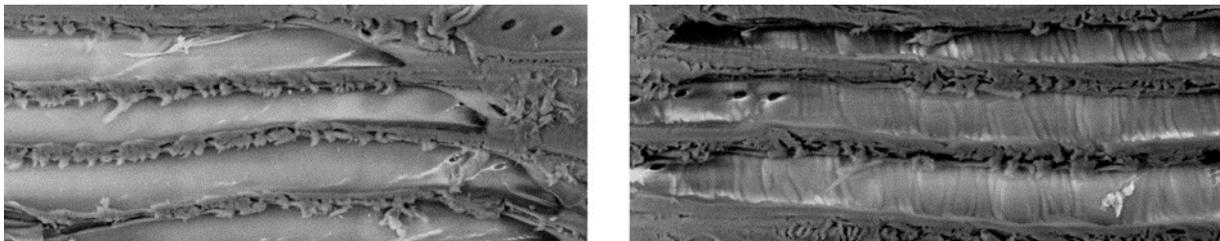


Fig. 5. SEM images of the oak wood's fibres in case of a control sample (left), and a longitudinally compressed sample (right). Magnification: 1000×

OTHER WOOD MODIFICATION PROCESSES

In addition to the modification processes above, some other processes were investigated too. First of all, impregnation processes with beeswax or nanoparticles can be highlighted. Both treatments have the goal to improve fungal resistance and dimensional stability of wood. Zinc-nanoparticles improved durability very effectively as very low concentrations resulted

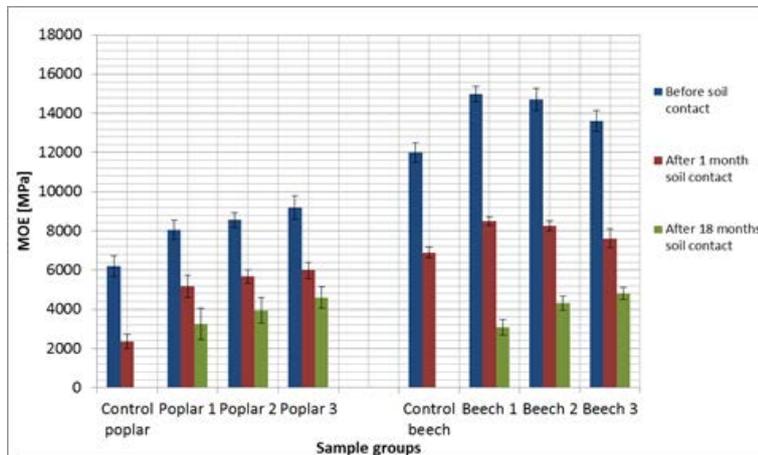


Fig. 6. MOE of poplar and beech samples (control and with 3 different DPS) in the investigation periods

already in significant resistance against decay. Better results could be achieved by using zinc-borate compared to zinc-oxide [6]. Impregnation with beeswax has a positive result that the process decreases moisture uptake of wood significantly (10–40 %) and it increases the durability in short term applications, thus it can be a natural based preservative for wood without any chemicals (fig. 6) [7].

CONCLUSIONS

At the University of Sopron (Institute of Wood Science) important research activity was executed during the last 30 years in terms of wood modification. In course of that, effects of numerous modification processes were investigated on wood. The main topic was the investigation of different heat treatments (heat treatment in different gaseous atmospheres or liquids and with compressing), but in terms of acetylation and in development of environmentally friendly wood preservatives (beeswax, nano-zinc particles) too.

ACKNOWLEDGEMENTS. The described work/article was carried out as part of the „Sustainable Raw Material Management Thematic Network – RING 2017”, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 project in the framework of the Széchenyi2020 Program. The realization of this project is supported by the European Union, co-financed by the European Social Fund.

REFERENCES

1. Bak M., Németh R. Changes in swelling properties and moisture uptake rate of oil-heat-treated poplar (*Populus × euramericana* cv. Pannónia) wood // *Bioresources*. 2012. 7 (7): 5128–5137.
2. Németh R., Bak M., Csordós D. Thermische Modifizierung von Buche und Pappel mittels Paraffin // *Holztechnologie*. 2012. 53: 5–10.
3. Ábrahám J., Németh R., Molnár S. Thermo-mechanical densification of Pannonia Poplar. In: *Proceedings of the final conference of COST Action E53: ‘Quality control for wood & wood products’*, 2010. Pp. 282–292.
4. Fodor F., Lankveld C., Németh R. Testing common hornbeam (*Carpinus betulus* L.) acetylated with the Accoya method under industrial conditions // *Iforest-Biogeosciences and Forestry*. 2017. 10: 948–954.
5. Báder M., Németh R. The effect of the relaxation time on the mechanical properties of the longitudinally compressed wood // *Wood Research*. 2018. 63 (3): (under press).
6. Németh R., Tsalagkas D., Bak M., Lykidis C., Bak M., Mantanis G., Németh R. Biological resistance of pine wood treated with nano-sized zinc oxide and zinc borate against brown-rot fungi // *European Journal of Wood and Wood Products*. 2015. 74 (6): 909–911.
7. Németh R., Tsalagkas D., Bak M. Effect of soil contact on the modulus of elasticity of beeswax-impregnated wood // *Bioresources*. 2015. 10 (1): 1574–1586.

MOISTURE-DEPENDENT ELASTIC CHARACTERISTICS OF CHERRY WOOD BY MEANS OF ULTRASONIC AND MECHANICAL TESTS

P. NIEMZ, E. BACHTIAR

Swiss Federal Institute of Technology (ETH), Institute for Building Materials, Zürich, Switzerland

In this study Cherry Wood (*Prunus avium* L.) was tested using ultrasonic and mechanical testing methods in the main directions. Three data evaluation techniques which differ in the way to incorporate the Poisson's ratios (full-stiffness-inversion, simplified uncorrected, and simplified corrected) are used to estimate the elastic moduli from the ultrasonic results.

The full-stiffness-inversion method give the best estimation for the elastic moduli. The simplified uncorrected leads to an overestimation of elastic moduli (44 %). The corrected method based on the Poisson ratios obtained from mechanical tests L Young's modulus.

INTRODUCTION

In modern engineering, elastic material parameters are essential for advanced material models. However, in the case of wood, the availability of elastic material parameters in the main directions L, R, T for MOE and shearing modules is often very limited in comparison to other commercially used building materials.

One of the most time-efficient and preferred non-destructive testing methods is ultrasonic testing with longitudinal (MOE) and transversal waves (G) (see Bucur and Archer [2], Gonçalves, et al. [3] and Ozyhar, et al. [4]). This testing method is known to be reliable for estimating the elastic stiffness in the principal anisotropy axes (longitudinal, radial and tangential) and shear stiffness on the material planes of wood. However, the applicability of this method to estimate other mechanical properties, such as Poisson's ratios, still remain uncertain. Another preferred method is mechanical testing Hering [5]. Even though this testing method is a conventional destructive test, it allows direct and accurate measurement of all elastic properties including the Poisson's ratios. However, the testing is significantly more involved than the ultrasonic test.

In this study, both ultrasonic and mechanical testing methods are further compared and studied on wood specimens. Therefore, three data evaluation techniques which differ in the way to incorporate the Poisson's ratios (full-stiffness-inversion, simplified uncorrected, simplified corrected), are used for cherry wood (*Prunus avium* L.) to estimate the elastic moduli from the ultrasonic results. Thus, a reliable set of material elastic properties can be obtained without losing the advantages of ultrasonic test.

RESULTS

As expected, the simplified uncorrected version of ultrasound data leads to an over estimation of the Young's Moduli (Tab.1). It is observed that the Young's modulus in L direction is at least 44 % higher compared to the mechanical test results for both of the wood species. This results have been expected to diverge from the mechanical test because to the unknown the Poisson's ratios in the calculation.

Although the Young's moduli corrected by the Poisson's ratios obtained by compression test and the literature data are closer to the nominal values of the mechanical tests than the uncorrected moduli, their values were still overestimated (tab. 1). Based on the tables, that the resulting Young's modulus in L direction is at least 27 % higher to the mechanical or literature results of each wood species.

Table 1. Cherry (*Prunus avium* L.)

| Cherry | Mechanical | | Ultrasound | |
|-------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---|
| | Compression | Full Stiffness inversion | Simplified, uncorrected | Simplified, corrected (Compression's Poisson's ratio) |
| | u = 10,7 % |
| | $\rho = 589 \text{ kg/m}^3$ | $\rho = 560 \text{ kg/m}^3$ | $\rho = 560 \text{ kg/m}^3$ | $\rho = 560 \text{ kg/m}^3$ |
| E_L | 8707 | 8238 | 12542 | 11943 |
| E_R | 1505 | 1384 | 2862 | 2104 |
| E_T | 720 | 644 | 1230 | 908 |
| $G_{RT} = G_{TR}$ | 0 | 228 | 228 | 228 |
| $G_{TL} = G_{LT}$ | 0 | 895 | 895 | 895 |
| $G_{LR} = G_{RL}$ | 0 | 1112 | 1112 | 1112 |
| ν_{RL} | 0,055 | 0,141 | 0,000 | 0,055 |
| ν_{LR} | 0,257 | 0,838 | 0,000 | 0,257 |
| ν_{TL} | 0,042 | 0,059 | 0,000 | 0,042 |
| ν_{LT} | 0,242 | 0,755 | 0,000 | 0,242 |
| ν_{TR} | 0,321 | 0,372 | 0,000 | 0,321 |
| ν_{RT} | 0,734 | 0,798 | 0,000 | 0,734 |

CONCLUSIONS

Further work is required to clarify the reason of the differences between methods. From the presented results, it becomes clear that the chosen data evaluation method has a significant influence on the calculated elastic moduli. For G-modul we have a lower difference.

ACKNOWLEDGEMENTS. Special thanks to Swiss National Science Foundation (SNF) for funding of the project.

REFERENCES

1. *Bodig J., Jayne B.A.* Mechanics of wood and wood composites. Krieger Publishing Company, Malabar, 1993.
2. *Bucur V., Archer R.R.* Elastic constants for wood by an ultrasonic method. Wood Science and Technology. 1984. 18: 255–265.
3. *Gonçalves R., Trinca A.J., Cerri D.G.P.* Comparison of elastic constants of wood determined by ultrasonic wave propagation and static compression testing // Wood and Fiber Science. 2011. 43 (1): 64–75.
4. *Ozyhar T., Hering S., Sanabria S.J., Niemz P.* Determining moisture-dependent elastic characteristics of beech wood by means of ultrasonic waves // Wood Science and Technology. 2013. 47 (2): 329–341.
5. *Hering S., Keunecke D., Niemz P.* Moisture-dependent orthotropic elasticity of beech wood // Wood Science and Technology. 2012. 46 (5): 927–938.
6. *Bachtar E.V.* Material characterization of wood, adhesive and coating of cultural heritage under various climatic conditions. PhD thesis, ETH Zurich, 2017.

COMPARISON OF DIFFERENT STACK MEASURING METHODS

Z. PÁSZTORY¹, B. HEINZMANN¹, M.-C. BARBU²

¹ University of Sopron, Sopron, Hungary

² University of Applied Sciences, Kuchl, Austria
(pasztory.zoltan@uni-sopron.hu)

In the last decades different methods have developed for measurement of piled wood called wood stacks. There are two main groups of measurements the first one is the manual methods and the second one is the automatic measurements. Taking consideration the amount and market value of stacked wood the accuracy of the applied measurement has high importance because the price is calculated according the measured amount of wood.

Manual measurements are mostly time consuming and dependent on the person perform. On the other hand the automatic methods are fast and their accuracy has been increased the last years.

They allow generating the relevant results for calculation of the prices at different locations, independently of the measurement time. These methods range from simple manual measurements of the stack using a tape to photo-optical measurement systems. Also other measurement methods like water immersion are currently used in practice. The paper presents the individual manual and automatic measurement methods for industrial timber and their working principles. Furthermore, the advantages and disadvantages concerning the requirements and accuracy of the individual procedures will be explained and their practical use will be discussed.

INTRODUCTION

The measurement of round wood is probably the most important element of the chain connections between the forestry and the timber industry. In addition to the timber quality, timber volume is the most important parameter for the fixing of prices.

The majority of sawmilling companies have state-of-the-art round wood measurement systems. The round wood is measured either electronically in the factory, or manually and the volume determined on an individual log basis is used for the billing of the timber. Therefore, the one by one measurement of logs plays a special role when it comes to determining the prices.

In contrast to the sawmilling, pulp, paper and wood-based panel industries process round wood assortments of lower diameter and quality referred to as industrial or stacked timber. The ratio of stacked wood versus logs can be quite high, especially in case of broadleaved species. This ratio depends on more factors such as wood species, soil quality, the climate conditions and age of the stand stock. Due to the requests or qualities of the industrial wood, their low value compared to roundwood, and the absence of technical facilities, electronic measurement of these assortments on an individual log basis is not possible. Therefore, other measurement methods must be used, which are capable of representing the volume as accurately and efficiently as possible. For this reason different integrated methods were developed which try to estimate the overall volume of the piled or stacked industrial wood. The volume measurements of stacked wood last back for centuries and different solutions were developed. The methods were continuous developed according to the technical possibilities of the time. The last decade seems to be a technical revolution in the field of industrial wood volume determination. More and more innovative solutions appear on the international markets which compete with each other. Expectedly, within some years the automatic measurement methods will dominate the industrial log markets. Although the present standards and scaling manuals give instructions for manual measurements, however in some cases they mention the possibilities of use photo-optical techniques.

Present paper intends to give a short overview of the manual and automatic measurement systems for industrial logs.

Requirements and characteristics of the measurement methods

The various measurement methods for industrial timber must meet specific requirements. In general, the measurement method must be characterised by a high degree of rationalisation and at the same time should provide the highest possible level of accuracy. The measurement values must be understandable and verifiable by all persons involved in the processing and sale of timber. In addition, the sequence of the phases timber harvesting, skidding and transport must not be disturbed by the data acquisition and the cost has to be kept as low as possible.

Historical overview

Already in 1875, as the Würzburg Decisions became effective, the states of the German Empire agreed on the introduction of the units "Festmeter" (solid cubic meter) and "Raummeter" (volumetric cubic meter) as common calculation units for the sale of timber and timber acceptance [1]. An uniform regulation regarding the grading and measurement for sawmill logs and industrial timber was not established until 1936 with the «Reichsholzmessanweisung» [2] in Germany.

One of the first methods to measure the stacked wood filing factor was published by Schnur [3] who measured the tree solid volume and piled the cut parts segmented diameter classes. He compared the filing factors of the diameter classes. To determine the converting factor of mixed oak cordwood Barrett, et al. [4] used planimeter, which was the first photo optical solution. However, Barrett, *et al.* determined only the filing factor for manual measurements and not the solid content of every pile. The picture was taken from the end of the stack, calibrated by means of scale and put to the edge of the stack. Keepers [5] used a diagrammatic top-plan view of wood measuring device. The picture taken from the stack butt end was analyzed and calculated the ratio of wood. These studies and results prove that the photo analytical solutions offered evident and pragmatic way.

Scientific examinations however revealed that the specified measurement instructions and conversion factors resulted in variation and volume errors between – 12 % and + 7 % [6].

The provisions of the «Gesetzliche Handelsklassensortierung für Rohholz» [7], which entered into force in Germany in 1969 and were valid until 2009, provided a new regulatory framework for the round wood trade and measurement of industrial timber. In this context, the conversion factors were reviewed in order to calculate the timber volume as accurately as possible.

The new standard «Rahmenvereinbarung für den Rohholzhandel in Deutschland» [8], valid in Germany since 2015, suggests new conversion and reduction factors while using existing measurement methods. This suggests that a representation of the exact wood amount for industrial timber has still not been achieved and thus depends on numerous factors and sources of error.

MANUAL MEASUREMENT METHODS

In the frame of this article the authors have not the possibility to use or study full overview of manual and automatic measurement methods, that is why the stream line methods are presented which are used widely in the practice or in case of automatic measurements can be a popular solution in the near future.

Sectional volumetric measuring method

The sectional volumetric method is widely used to measure industrial stacked timber also in Europe and in North and South America and also in other parts of the Earth. The method can be used for different size of the stack in width, length and height. The most common length of stacked logs is 1,0; 2,0 and 3,0 m in Europe and 2,44 m (8 ft.) in North America. The measurement method is applied to the completed stack and the determined

volume is used as a measure for sale.

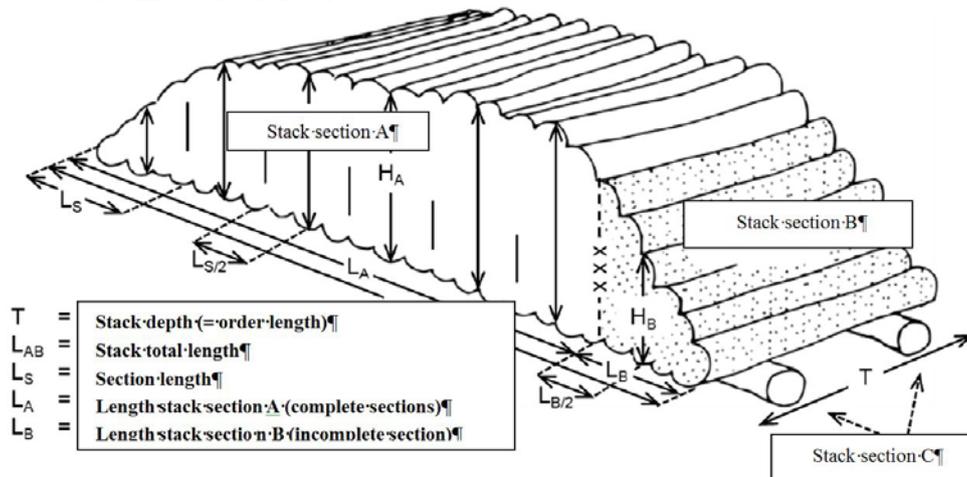


Fig. 1. Measurement using the sectional volumetric method [8]

The length, height, and depth of the stack (corresponds to the order length of the assortment) measures are used to determine the gross volume in the unit cubic metres. Usually the measurement values are determined using a measuring tape for the length and a yard stick for the height fig. 1.

Depending on the overall length of the stack (L_{AB}), the stack is divided in defined sections of equal length (L_S) (see tab. 1) for the length measurement. The section size can be different according the regulations in different countries. After division and marking of the respective sections, an incomplete section is obtained at the end of the stack (stack section B) with the length L_B . This is measured separately and the volume is added to the determined stack volume from L_A .

Table 1. Division of section lengths according [8]

| | |
|-------------|------|
| up to 10 m | 1 m |
| 10 to 20 m | 2 m |
| 20 to 40 m | 4 m |
| 40 to 60 m | 6 m |
| 60 to 80 m | 8 m |
| 80 to 100 m | 10 m |

The respective section centres ($L_S/2$) are relevant for the subsequent height measurement and are therefore marked using colour spray.

The section heights are determined vertically to the stack and on both sides. The measuring points at the bottom and topside of the stack must always be determined where the vertical marking leaves the end face of the last log. Height compensation within the respective sections in case of irregular placement of the logs at the

top of the stack is not allowed. There are regulations that determine a recommended or maximum height [9]. There are regulations to determine height or other dimension corrections in special cases [8, 10].

The gross volume resulting from the measurement values determined (length and height of the stack) and the order length are reduced according to a fixed measure allowance of 4 % and additional reduction factors depending on the wood species and the assortment length (see tab. 2). The resulting net volumetric measure without bark valid for the timber sale is thus calculated according to the following formula.

$$\text{net volumetric measure (m}^3\text{ub)} = (H \times L \times T) \times \text{reduction factor (\%)}$$

Table 2. Reduction factors depending on the timber length and type according [8]

| | | |
|------------------------|------------|------------|
| spruce/fir/Douglas fir | 0,96–0,94 | 0,94–0,92 |
| pine/larch | 0,94–0,925 | 0,92–0,905 |

The Swedish [10] gives a similar solution a little more sophisticated way by calculating the individual section overall volume instead of average value of stack height.

Conversion factors

The calculated overall volume comply the solid wood content and the air space between the logs. The conversion factor is the relationship between staked measure and solid contents. The ratio between these two components of the pile can be different within a range of 0,50 to 0,80. The higher number means the higher solid wood content in a stacked cubic meter. Some prescription defines this ratio in percentage and do not make any diversification within an assortment [11]. [12] determine the conversion factor 0,80 for pulpwood under bark and in the case of firewood, which is recovered from wood not meeting the quality standards for sawlogs, a conversion factor of 0,70 over bark. There are other official regulations make a fine diversification of converting factors for different assortments and wood species [13]. Scientific investigation was done for the more accurate determination of conversion factor function of different conditions of stacked piles [14]. The optimal cost of estimation stacked wood solid content was investigated by Smith [15].

Meyen and O'Connell [16] show a special method on how to determine the actual conversion factor using a 0,7 by 0,7 m grid and counting the numbers and diameters of the logs.

Xylometry

The difficulty of log volume measurements derives from the irregular shape of the trees and branches. The stems have bends and twist and irregular surface shapes which inhibit to develop a perfect mathematical model for calculate the real surface and volume. A measurement method which could regenerate the surface unevenness would be perfect. The log immersion to water approximates this method the closest or appropriate way. Özçelik *et al.*, [17] investigated the xylometry method and compared to others. Despite of the difficulties of measurement execution the results shows very good correlation to the real volume of the stack.

Automatic Measurement Methods

The automatic measurement systems use technical background and informatics for analysis of data. By the time more and more innovative solutions come to the light and become available on the market. The electro-mechanical harvesting technology is one of the earliest ways to determine the solid contents of stacked wood. Despite of disadvantageous of measurement accuracy the advantage is that the measurement happens in the same time as the harvesting. No additional activity and time are requested for measurement.

Photo optical solutions strengthened in the last years and such application can be run also in smart phones. The more sophisticated technologies use other additional equipment for taking pictures and for analysing the images.

Harvester measurement

In Germany, half of the timber harvest is already carried out fully mechanically today, which is why measurement by means of harvester is gaining increasing importance [18]. The measurement equipment contained in the harvester unit automatically captures the data of the respective processed log.

The length measurement of the sections is generally carried out by means of toothed feed rollers equipped with sensors. These rollers are pressed mechanically or hydraulically to the surface of the logs located in the processing unit and move along during processing.

With diameter measurement data acquisition is either effected by determining the distance of the feed rollers to each other or indirectly by determining the opening angle of the delimiting knife during log processing fig. 2 [19].



Fig. 2. Harvester unit [29]

In addition to the individual log volume determination based on the measured lengths and diameters, the quantity is required for the calculation of the total volume of a stack. This is determined fully automatically with each log cut with the chain saw and stored in the system.

Continuous calibration of the measurement systems and changes of the parameter settings according to the respective timber condition are a basic requirement for obtaining correct data [20].

Photo-optical systems

Photo-optical measurement has gained increasing importance over the past years. Currently, different systems exist on the market allowing an automatic mobile capture of individual stacks by means of image analysis [21].

A differentiation is made between two technologies with distinct principles of operation [22]. There is a largely automated measurement of stacks where the measurement is carried out by a camera system on the roof of the car with simultaneous calculation by means of special software. Other photo-optical systems are based on manual capture using digital cameras and automatic external evaluation of the photo material.

The full automated measurement technology of wood stacks allows data collecting at different viewing angles, distances, and speeds. The measurements are carried out using a stereo camera system with two cameras positioned in a certain angle to each other fig. 3.

Individual images are recorded in a fixed and known scale without requiring additional reference points. The camera generates several images per second and a stereo film of the stack front. Based on this film, a 3D model with all parameters relevant for the timber volume, such as cubic measure, solid measure, quantity, diameter distribution, is calculated [23]. Once recorded, the measurement data is immediately transmitted to the server and can be imported and corrected where necessary using a monitor installed in the car [24].



Fig. 3. Camera log measurement system by the company Dralle [15]

Photo-optical measurement of the timber is also possible by using a digital camera. Several frontal individual images (i.e. of the end face) of a stack are recorded. In each of these individual images, a scale (e.g. a yardstick) must be used as a reference during image analysis.

The evaluation of the image data cannot be performed on site. Instead, the obtained data sets of the individual images are sent to a central web server in an automated manner. This web server assembles the images of the individual stack sections to a total image of the stack, similar to a panoramic photo fig. 4.

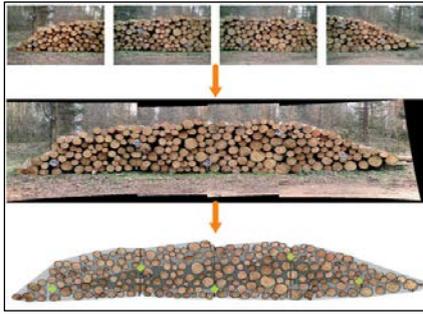


Fig. 4. Individual steps of photo-optical stack measurement [28]

The recorded images are used to determine the log quantity, end face diameter, and the storage density of the stack. Based on these values and the uniform log lengths, the total volume of the stack in cubic metres, the average mid-diameter and the size class distribution are calculated first. By application of conversion factors it is later also possible to calculate the total volume in solid cubic metres [26].

DISCUSSION

The manual and automatic measurement methods listed and explained will now be discussed with respect to their requirements, accuracy, and rationality.

Requirements and accuracy

To ensure that the determined volumetric measure is correct, certain conditions and minimum requirements must be fulfilled [8]. If these are not fulfilled, the sectional volumetric measurement method cannot be used for determination of the sales measure. Hence, it could only be used for determination of a control measure.

- Minimum stack size of 20 m³
- Stack height as uniform as possible and max. 2,50 metres
- Stacks separated according to wood species
- Stack placed in a dense and flush way
- One order length per stack of wood
- Building of stacks without inclusion of branches and foreign material (snow, dirt, etc.)
- Free access to front and rear of the stack

Even though the aggregates and the board computers are constantly further developed by the manufacturers, the harvester measurement process and the problems connected to this have not changed according to the present state of knowledge. By permanent calibration of the measurement system and changes of the parameter settings according to the respective timber condition, certain measurement accuracy can be reached, but this does not reflect the exact timber volume.

The main reason for this is the different condition during the harvesting of the timber. For example, if the logs are processed while they are producing sap, major bark portions are removed during delimiting. As a consequence, log portions with and without bark alternate during measurement making diameter determination more difficult. With length determination there is often the problem that with very knotty or bumpy logs the hydraulically pressed measurement wheels temporarily come off the log and that jamming of the length measurement wheel due to, for example, peeled of bark pieces, leads to incorrect results. In addition, external influences such as time of the year, weather, and mechanical factors affect the measurement by harvester.

In practice, errors often occur when determining the quantity, caused by incorrect operation of the systems or software errors.

Due to these error sources the harvester measure is only used as a control measure and for logistic purposes. For calibration reasons it cannot be used as a sales measure relevant for the calculation of prices [20].

In Denmark, approximately 300.000 m³ of roundwood has been photo-optical measured by the Federal Agency for Nature Conservation every year since 2009 [27]. It is claimed that regular calibration of the measurement equipment ensures that the specified error tolerances can be met. The accuracy ranges of these tolerances are not specified and mentioned.

The manufacturers of photo-optical equipment advertise with good and precise

measurement results of their products without specifying exact tolerance ranges. According to the current state of knowledge, individual scientific studies have been conducted on the comparability of the results of photo-optical measurement and assessments on an individual log basis of sawmill timber. Tests regarding the measurement of industrial timber have not been performed yet.

In general, it can be said that the accuracy of the measurement results largely depends on the respective system, the stack quality and the operation. There are detailed regulations on the distance and the angle to the stack front in which the recording camera is to be positioned. Small changes already lead to inaccuracies and incorrect results. In addition, external influences, such as the incidence of light, affect the correctness of the measurement data as due to shadows or minor darkness individual end faces may not be detected and measured. Similar problems are caused by dark or dirty end faces. While it is possible to subsequently process these logs with special software, this is connected with significant extra time and efforts.

Rationality

If all conditions and requirements are met, the volumetric measurement method is characterised by a high degree of rationalisation. This is mainly beneficial in case of large stacks. Consequently, it is one of the fastest and most cost efficient manual methods [1]. In addition, the method can be reproduced by all persons involved in the wood sale at any time and the measurement result is transparent for all parties.

The harvester measurement allows an early determination of measures and therefore a quickly available measure for logistical processes. The data can be made digitally available by means of modern software and interconnected with other database systems via radio.

As explained, the photo-optical measurement methods offer the possibility of early determination of measures. In practice, the method is characterised in particular by its uncomplicated and easy way of data provision and the comprehensive documentation of the measurement. This allows for rationalisation of the complete business process of the timber sale and its transparent representation for all persons involved.

CONCLUSION

In summary, it can be concluded that although the automatic measurement methods for roundwood developed over the past years (harvester, photo-optical methods) have significantly improved with respect to the rationalisation of the timber measurement compared to the manual methods, the measurement accuracy required for the sale of timber can be achieved. It remains to be seen whether these systems can be improved further with respect to the measurement accuracy and can thus become easy and quick to calibrate.

Therefore, at present, the only alternatives available for determination of a sales measure for industrial timber are the manual measurement methods as used for several decades. The problems regarding the requirements and accuracy mentioned often give rise to disputes and arguments between the forestry and timber industry. Depending on the situation of the timber market, each try to impose the measurement method which is the best, i.e. most beneficial for the respective party.

Looking to the future, it would be necessary and desirable in the interest of the overall forestry and timber industry to generate a measurement system for industrial timber which complies with the required dimensional tolerances while ensuring a rational procedure at the same time. With today's technical possibilities and the experience from several decades in the sale of industrial timber this should be possible.

ACKNOWLEDGEMENTS. The described article was carried out as part of the «Roadmap for Structural Changes of the University of Sopron» – nr. 32388-2/2017 INTFIN. The Ministry of Human Capacities of the Hungarian Government supported the realization of this project.

REFERENCES

1. *Wilwerding A.* Problematik der Vermessung von Profispaner-Fixlängen und Entwicklung eines Raummaßverfahrens. Freiburg im Breisgau, 1995.
2. *Platte G.* Untersuchungen zur Geschichte der forstlichen Rohholzsortierung und deren Weiterentwicklung. Freiburg im Breisgau, 1957.
3. *Schnur G.L.* Converting Factors for Some Stacked Cords // *Journal of Forestry*. 1932. Vol. 30. N 7. Pp. 814–820 (7).
4. *Barett L.I., Buell J.H., Renshaw J.F.* Some Converting Factors for Mixed Oak Cordwood in the Southern Appalachians // *Journal of Forestry*. 1941. V. 39:6. Pp. 546–554(9).
5. *Keepers C.H.* A New Method of Measuring the Actual Volume of Wood in Stacks // *Journal of Forestry*. 1945. V. 43. N 1. Pp. 16–22 (7).
6. *Dietz P.* Die Vermessung von Industrieholz nach Gewicht. Freiburg im Breisgau: Institut für Forstbenutzung und forstliche Arbeitswirtschaft, 1966.
7. *Forst-Hks.* Gesetzliche Handelsklassensortierung für Rohholz, BGBI.I S.149. Ergänzungsbestimmungen für Baden-Württemberg. 1969.
8. *RVR.* Rahmenvereinbarung für den Rohholzhandel in Deutschland. Deutscher Forstwirtschaftsrat e. V. 2015.
9. *Nova Scotia Scaling Manual.* Nova Scotia Scaling Manual 2nd Edition, Department of Natural Resources Renewable Resources Branch Forestry Division, October 2007.
10. *SDC* SDC's instructions for timber measurement. Measurement of roundwood stacks, sdc. se, 2014.
11. *Manitoba Conservation and Water Stewardship.* Manual of Scaling Instructions, 4th edition, September 2013. P. 38.
12. *Laar A., Akça A.* Forest Mensuration. 2007. Springer V. ISBN-13 978-1-4020-5990-2.
13. *New Brunswick, Forest Management Branch Natural Resources and Energy.* New Brunswick Scaling Manual 3rd edition, ISBN 1-55236-207-8, Appendix A, February 2003.
14. *Barros M.V., Finger C.A.G., Schneider P.R., Santini E.J.* Fator de Cubicáco Para Toretas de Eucalyptus grandis e Sua Variáçáo Com o Tempo de Exposicáo ao Ambiente (Cubivation Factor of Stacked Wood of Eucalyptus grandis and its Variation with the Time of Exposition to the Environment) // *Ciencia Florestal*. 2008. V. 18. Pp. 109–119.
15. *Smith V.G.* Estimating the solid wood content of stacked logs with minimum total cost // *Can. J. For. Res.* 1979. V. 9. Pp. 292–294.
16. *Meyen S., O'Connell K.* Stacked Timber Measurement, The 2012 ITGA Forestry & Timber Yearbook, Irish Timber Growers Association, 2012. Pp. 50–56.
17. *Özçelik R., Wiant Jr H.V., John R. Brooks.* Accuracy using xylometry of log volume estimates for two tree species in Turkey // *Scandinavian Journal of Forest Research*, 23. 2008 Pp. 272–277.
18. *Wagelaar R.* Rundholzvermessung mit Harvestern. AFZ / Der Wald 15 1997.
19. *Sauter H.U.* Vermessung und Qualitätsbestimmung des Rohholzes an der Schnittstelle zwischen forstlicher Produktion und Weiterverarbeitung in der Holzindustrie. FVA Baden Württemberg: Abteilung Waldnutzung – Alumnikolloquium, 2014.
20. *Dietz H.-U., Urbanke B.* Harvestervermessung – Hochmechanisierte Holzernte braucht verlässliche Produktionsdaten // *KWF, Fachzeitung für Waldarbeit und Forsttechnik* 11. 2009.
21. *Jorgesen E.R., Kristiansen L.* Digitale Fotovermessung von Industrieholzabschnitten. AFZ/ Der Wald 2/. 2008.
22. *Fink F.* Foto-optische Erfassung der Dimension von Nadelrundholzabschnitten unter Einsatz digitaler, bildverarbeitender Methoden. Dissertation. Freiburg, 2004.
23. *Dralle.* sScale – Measure, track and trade. Hoersholm/DK: Produktbroschüre. 2014.
24. *LWF Bayern.* Holzaufnahme im BaySF-Logistikprozess. Freising: Magazin der Bayrischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft. 2008.
25. *Dralle A/S.* Dralle A/S, Hoersholm, Denmark. 2015. <http://www.dralle.dk>.
26. *FOVEA.* Foto-optische Holzvermessung mit dem Smartphone. Uslar/DE: Produktbroschüre. 2014.
27. *Holz-Zentralblatt* NR. 9. Fotovermessung in den dänischen Staatswäldern. 2015.
28. *AFoRS.* Scheller Systemtechnik GmbH, Wismar, Germany, 2015. <http://www.afors.de>.
29. *Ponsse Plc.* Ponsse Plc, Vieremä, Finland, 2015. <http://www.ponsse.com>.

DIFFERENTIAL SCANNING CALORIMETRY OF WOOD OF CONIFEROUS AND DECIDUOUS TREE SPECIES

O.A. SHAPCHENKOVA, S.R. LOSKUTOV, A.A. ANISKINA

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (shapchenkova@mail.ru)

Differential scanning calorimetry (DSC) is a highly sensitive technique to study the thermal properties of native, degraded, retardant wood [2]. The degradation of wood determined by DSC analysis provides information on the interaction between wood components [1, 4]. Wood materials present different degradation profiles depending on the wood composition. The chemical and physical properties of wood such as moisture content, chemical composition, density and cellulose crystallinity are factors that influence the characteristics of thermal degradation and kinetics [5]. The aim of this work was to study the thermal degradation of wood of coniferous and deciduous tree species of Middle Siberia.

Wood samples from *Larix sibirica* Ledeb., *Pinus sylvestris* L., *Picea obovata* Ledeb., *Pinus sibirica* Du Tour., *Betula pendula* Roth., and *Populus tremula* L. were investigated. DSC measurements were carried out using DSC 204 F1 (Netzsch, Germany) differential scanning calorimeter in an oxidative (air) atmosphere with flow rate of 40 mL min⁻¹. The wood powder samples were heated from 25 to 590 °C with heating rate of 10 °C min⁻¹.

The wood is known to be a complex organic material, composed of cellulose (40–45 % for coniferous trees and 38–50 % for leafy trees), lignin (26–34 % for coniferous trees and 23–30 % for leafy trees), hemicelluloses (7–15 % for coniferous trees and 19–26 % for leafy trees), extractives (<15 %), water, and mineral matter. The chemical composition varies from species to species, and within the same variety, it varies with the botanical origin, age and location in the part of the tree [1, 3]. According to the literature data [1, 6, 8], the thermal degradation of wood is dominated by the degradation behavior of its three main components—hemicelluloses, cellulose, and lignin. The differences in the thermal degradation of lignin and hemicelluloses depending on whether these come from softwood or hardwood, or even of different species were observed.

DSC curves obtained in an oxidative atmosphere for wood of studied species are shown in Figure. As we can see, all tree species presented three peaks in DSC curve – one endotherm and two exotherms. The endothermic peak at 64–70 °C is attributed the removal of moisture, two exothermic peaks at 343–358 °C and 470–501 °C are associated with the cellulose and lignin degradation, respectively.

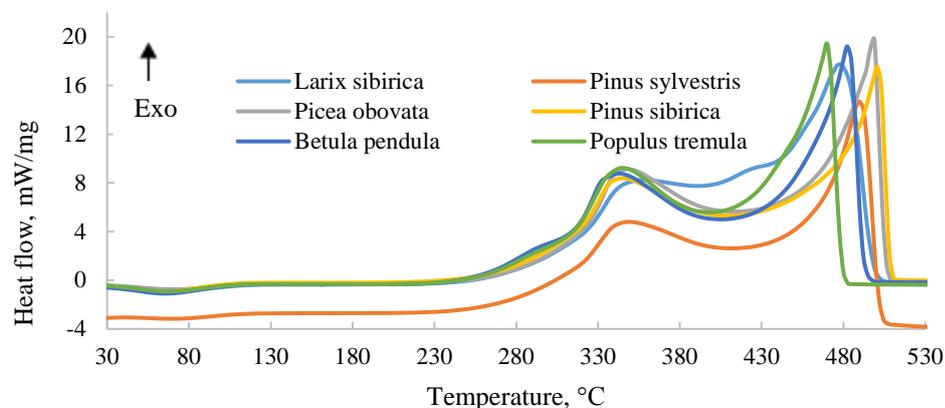


Fig. 1. DSC curves of wood for the tree species studied

A shoulder in DSC curves of *Betula pendula* and *Populus tremula* at ca. 280 °C is

related to the decomposition of hemicelluloses. The wood of coniferous trees is characterized by significantly lower content of hemicelluloses compared to deciduous trees. This shoulder in the DSC curve for conifers didn't appear due to the overlap with the process of cellulose degradation in these experimental conditions of thermal analysis.

The temperature of peaks and enthalpy for the tree species studied are presented in Table. The wood of *Betula pendula* and *Pinus sibirica* is characterized by lower temperatures of endotherms and higher values of enthalpy (ΔH , J/g) in DSC analysis compared to other tree species. The DSC curve of *Pinus sylvestris* showed the lowest endoeffect.

Table. Peak temperatures and enthalpy of wood obtained from DSC curves

| Wood species | T _{peak} (°C) | ΔH (J/g) | T _{peak} (°C) | | ΔH (kJ/g) |
|--------------------------------|------------------------|------------------|------------------------|-----|-------------------|
| <i>Larix sibirica</i> Ledeb. | 69 | 133.2 | 358 | 477 | -11.0 |
| <i>Pinus sylvestris</i> L. | 69 | 51.8 | 349 | 490 | -9.8 |
| <i>Picea obovata</i> Ledeb. | 70 | 103.6 | 349 | 498 | -10.1 |
| <i>Pinus sibirica</i> Du Tour. | 64 | 139.0 | 345 | 501 | -9.5 |
| <i>Betula pendula</i> Roth. | 66 | 141.1 | 343 | 483 | -9.6 |
| <i>Populus tremula</i> L. | 68 | 130.8 | 345 | 470 | -9.5 |

With temperature increasing, two main combustion peaks were observed in DSC curves. The temperature of the first exothermic peak related to degradation of cellulose was generally higher for coniferous tree species in comparison to deciduous ones. The temperature of the second exothermic peak assigned to lignin degradation was also higher for coniferous tree species with the exception of *Larix sibirica*. It is known, that wood of *Larix sibirica* compared to other conifers contains *high amounts of water-soluble substances mainly arabinogalactan*. The weight proportion of hemicelluloses influences the total degradation of wood [6]. Tsujiyama et al. [7] reported that the wood components are not present independently of thermal analysis and the exotherm at around 475° C in DSC analysis of wood powder is due to a mixture of lignin and polysaccharides. According to the values of enthalpy (ΔH , kJ/g) the tree species found to be as following: *Pinus sibirica*~*Populus tremula*>*Betula pendula*>*Pinus sylvestris*>*Picea obovata*>*Larix sibirica*.

REFERENCES

1. Bryś A., Bryś J., Ostrowska-Liżęza E., Kaleta A., Górnicki K., Głowacki S., Koczon P. Wood biomass characterization by DSC or FT-IR spectroscopy // J. Therm. Anal. Calorim. 2016. 126: 27–35.
2. Franceschi E., Cascone I., Nole D. Thermal, XRD and spectrophotometric study on artificially degraded woods // J. Therm. Anal. Calorim. 2008. 91 (1): 119–125.
3. Leroy V., Cancellieri D., Leoni E. Relation between forest fuels composition and energy emitted during their thermal degradation // J. Therm. Anal. Calorim. 2009. 96: 293–300.
4. Mehrotra R., Singh P., Kandpal H. Near infrared spectroscopic investigation of the thermal degradation of wood // Thermochim. Acta, 2010. 507–508:60–65.
5. Poletto M., Zattera A.J., Santana R.M.C. Thermal decomposition of wood: Kinetics and degradation mechanisms // Bioresource Technology. 2012. 126: 7–12.
6. Tarrio-Saavedra J., Naya S., Francisco-Fernandez M., Lopez-Beceiro J., Artiaga R. Functional nonparametric classification of wood species from thermal data //J. Therm. Anal. Calorim. 2011. 104: 87–100.
7. Tsujiyama S., Miyamori A. Assignment of DSC thermograms of wood and its components // Thermochim. Acta, 2000. 351: 177–181.
8. Yang H., Yan R., Chen H., Lee D.H., Zheng C. Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis // Fuel. 2007. 86: 1781–1788.

DURABILITY OF SIBERIAN LARCH TIMBER IN FINLAND – RESULTS FROM 11-YEAR TEST IN GROUND CONTACT

M. VENÄLÄINEN¹, S. HEIKKONEN², N. TERZIEV³, P. TORNIAINEN⁴

¹ Natural Resources Institute Finland (Luke), Punkaharju, Finland (martti.venalainen@luke.fi)

² METSÄ WOOD, Suolahti, Finland (samuli.heikkonen@metsagroup.com)

³ Swedish University of Agricultural Sciences (SLU), Uppsala, Sweden (nasko.terziev@slu.se)

⁴ Luleå University of Technology, Skellefteå, Sweden (petteri.torniainen@finotrol.fi)

INTRODUCTION

Siberian larch (*Larix sibirica* Ledeb.) has been cultivated in Northern Europe, i.e. outside its natural range of distribution since 1738 [6]. Currently there are plenty of planted larch stands in Finland and Sweden and even in Iceland. This introduced species has proved to be well adapting and promising with regard to production of good quality timber. Most of these stands are still young and thus, sawn larch timber is imported from Russia for building purposes.

The natural durability of larch heartwood is a well-known feature from the past history and a great number of studies. The rehabilitated interest to the use of larch timber in Europe rises from the need to get environmentally benign alternatives to timber protected with possibly harmful chemicals, e.g. copper-based preservatives. Consumers need durable timber for out-of-doors applications, such as deckings and garden constructions, that are prone to wetting and decay. The naturally durable heartwood of larch is one economically viable option to substitute chemically impregnated timber.

Natural durability of heartwood depends on its extractive composition. Studies have illustrated the role of phenolic taxifolin in providing the decay resistance of larch heartwood while the most abundant extractives, water soluble arabinogalactans have no effect [8]. There is wide variation in decay resistance between individual trees similar with many other growth and quality traits. The variation rises partly from the genetic differences [7] and partly from the effect of the growth environment. There is also a common speculation that trees growing in their natural distribution area would be better regarding quality characteristics, including decay resistance, than trees introduced and cultivated outside the range.

The aim of this study was to compare the durability of Siberian larch timber imported from natural stands from Siberia and timber harvested from cultivated stands in Finland. The comparison was carried out as a long-term ground contact test according to standard EN 252.

WOOD MATERIALS

Siberian larch wood material consisted of two timber lots: commercial timber imported from Ust Ilimsk (58°15' N, 102°75' E), Russia, and timber harvested from a 84-year-old cultivated stand in Punkaharju (61°81' N, 29°32' E), Finland (Fig.1). Detailed description about the material as well as the results of kiln drying experiments are given by Heikkonen et al. [3] and Luostarinen et al. [5]. From the Finnish logs, both mature heartwood from the outer part of the log and juvenile heartwood from the center of the log were exposed in ground contact durability test.

Impregnated reference specimens with CCA (two concentrations) and copper-based preservative Celcure 800 AC were used parallel with non-impregnated Scots pine sapwood and heartwood (from the two growth locations) stakes (Table 1).

EN252 TEST

This field test has been developed to determine the relative protective effectiveness of a wood preservative in ground contact [2]. It has been used also widely to test natural decay

resistance of wood species. In this test, half of a 25 x 50 x 500 mm sized wooden stake is buried in the soil for 5–10 years and thus exposed to soil-inhabiting, biomass degrading microorganisms. The deterioration of each stake is evaluated annually according to specific instructions of the standard [1, 2]. At late stages of degradation the strength of the stake is tested with a bending apparatus using static pressing force of 1240 N (fig.2).

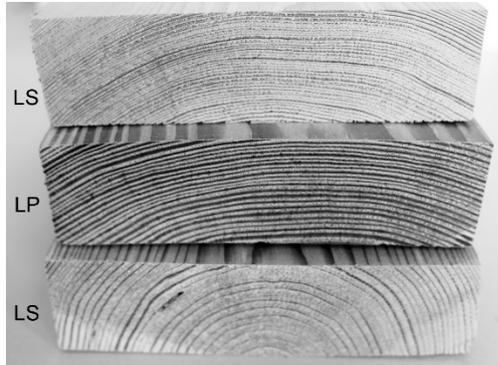


Fig. 1. Siberian larch timber. LS=Siberian larch heartwood (mature on top, juvenile at bottom) grown in Ust-Ilimsk, Russia, LP= Siberian larch heartwood grown in Punkaharju, Finland

Table 1. Summary of wood materials used in ground contact test

| Code | Test series |
|-------------------|--|
| Cu | Impregnation with Cu preservative (Celcure 800 AC, 3,2 %, 19 kg/m ³) |
| CCA (0.3%) | Impregnation with CCA preservative (0,3 %, 2 kg/m ³) |
| CCA (1.3%) | Impregnation with CCA preservative (1,3 %, 9 kg/m ³) |
| LP | Siberian larch heartwood grown in Punkaharju, Finland |
| LPN | Siberian larch juvenile heartwood grown in Finland |
| LS | Siberian larch heartwood grown in Ust-Ilimsk, Russia |
| MS | Scots pine heartwood grown in South Finland |
| PM | Scots pine heartwood grown in North Finland |
| VM | Scots pine sapwood grown in South Finland |



Fig. 2. Overall view of EN 252 decay field test at Punkaharju in summer and winter time, grass maintenance, Scots pine stake in close view and strength measuring with bending apparatus

The test field is located in Punkaharju, Finland, on fertile garden soil (pH 7,5). It is expected that the degradation in soil contact occurs during the months when the mean air temperature is above 0 °C, i.e. from April to October. The annual mean temperature during that period has been 10,7 °C and the precipitation 370 mm.

The field experiment was started on 21.6.2006 and the first evaluation was done after the active degradation period in Oct 2006. The evaluation of the stakes was carried out by VTT annually until 2011. The bending test only was carried out in 2013 while in 2016 the evaluation and bending test were carried out. This time the decay rate classes were sharp tuned to find out more clearly the differences between the test series: if the performance of a stake was worse than that of a typical 2 or 3 it was given rate value 2- or 3-. Similarly stakes better than 3 were given rate value 3+.

According to the standard EN 252 and the evaluation guideline, the decay rate classes 0–4 given to individual stakes are treated in the data analysis as whole natural numbers. Thus, the average decay rate for a test series can be calculated as the arithmetic mean of the single decay rates. Furthermore, in our analysis the decay rates were given a negative value to illustrate the deterioration of the condition of the stakes. According to the instructions, when all the stakes in the test series have reached decay rate 4, i.e. have been broken, the average life is calculated as a mean of the service life of every single stake.

RESULTS AND DISCUSSION

The average decay rate according to the visual evaluations was calculated for the first five degradation periods (fig. 3). The quick degradation of Scots pine sapwood shows that the microorganisms living in the soil are aggressive against perishable wood. Only two impregnated test series (Celcure and CCA at 1,3 %) have kept intact while the surface of stakes of all other materials, including the larch samples, has started to soften. The difference between Scots pine sapwood and heartwood is evident, as well as the difference between the two CCA concentrations.

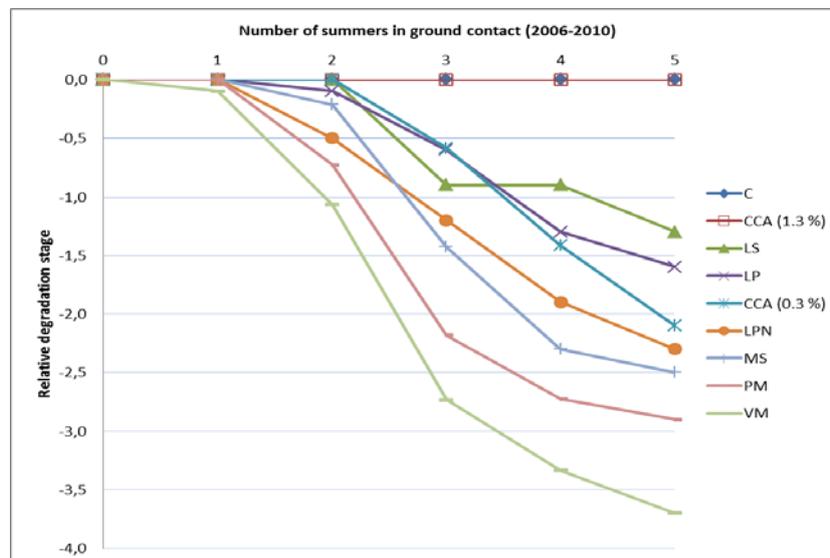


Fig. 3. The average decay rate of the test series based on the visual evaluation during the first five years in field test (n=10-15). At rating -4, all stakes are broken

Until October 2016, i.e. after eleven years (summers), Scots pine sapwood had reached the degradation phase in which the calculation of average life was relevant, i.e. all stakes were broken. The average service life of untreated sapwood was 4.9 years. For the other test series the number of broken stakes is given in Table 2. Furthermore, the frequency of stakes still standing in the sharp tuned decay rate classes is given in Table 2. The results show that there was remarkable variation in the durability between the heartwood stakes. Some stakes were broken while for others the softening was decreased. This is consistent with earlier results concerning natural decay resistance [e.g.7]. In general, Siberian larch appeared to be more

durable than Scots pine. The performance of larch grown in Finland and Siberia seemed to be similar. This finding differs from the earlier results that showed superiority of Siberian-grown timber compared to timber grown in Sweden [4]. The juvenile heartwood that is located close to the pith was somewhat less durable than mature heartwood. The softening of impregnated stakes (Celcure and CCA 1,3 %) had proceeded evenly but had accelerated compared to larch heartwood.

Table 2. Performance of the test stakes in the eleven-year ground contact experiment started at 21.6.2006. The number of failed samples in the annual bending test until Nov. 2016 is given. The number of samples in the visual degradation classes is given for the samples standing after Nov. 2016

| Treatment | Stakes | number of broken specimens per year | | | | | | | standing | EN252 class for standing specimens 10/2016 | | | | |
|------------|--------|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|----------|--|----|-----|-----|---|
| | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2013 | 2016 | Nov 2016 | 3 - | 3 | 3 + | 2 - | 2 |
| Cu | 15 | | | | | | | | 15 | | 14 | 1 | | |
| CCA (0.3%) | 12 | | | | | | | 5 | 7 | 1 | 6 | | | |
| CCA (1.3%) | 10 | | | | | | | | 10 | | 6 | 3 | 1 | |
| LP | 10 | | | | | | | 1 | 9 | | 2 | 3 | 2 | 2 |
| LPN | 10 | | | | 1 | 1 | | 1 | 7 | | 2 | 3 | 2 | |
| LS | 10 | | | | | | | 1 | 9 | | 4 | 2 | | 3 |
| MS | 14 | | | 1 | | 1 | 2 | 7 | 3 | 1 | 2 | | | |
| PM | 11 | | 1 | | | 2 | 2 | 4 | 2 | 1 | 1 | | | |
| VM | 15 | 1 | 1 | 3 | 5 | 3 | 2 | | | | | | | |

Based on unpublished data from in 1996 established test in Punkaharju, it is predicted that it will take another 10 years or more until the failure of the most durable larch stakes will occur.

ACKNOWLEDGMENTS. Authors are grateful to SIBLARCH project, financed by the European Union Northern Periphery Programme, for establishing this interesting field test.

REFERENCES

1. *Borsholt and Henriksen* Guidline for EN 252. Inspection and evaluation of the attack of stakes caused by micro-organisms. NWPC Information. 1992. No. 23/90.
2. *European Committee for Standardization.* EN 252. Field test method for determining the relative protective effectiveness of a wood preservative in ground contact. 2014.
3. *Heikkonen S., Luostarinen K., Piispa K.* Kiln drying of Siberian larch (*Larix sibirica*) timber. Mikkelin ammattikorkeakoulu, A: Tutkimuksia ja raportteja // Research reports. 2007. 26. 77 p.
4. *Jebrane M., Pockrandt M., Terziev N.* Natural durability of selected larch and Scots pine heartwoods in laboratory and field tests. *International Biodeterioration & Biodegradation* 91, 2014. 88–96.
5. *Luostarinen K., Heikkonen S., Korri J.* Effects of basic density, annual growth and drying schedule on selected quality factors of dried Siberian larch (*Larix sibirica*) timber // *Wood Material Science and Engineering.* 2010. 1: 24–33.
6. *Redko G, Mälkönen E.* Lintulan lehtikuusimetsä. Линдуловская лиственничная роща. Metsäntutkimuslaitos, Gummerus Jyväskylä, 2001, 89 s. in Finnish <http://urn.fi/URN:ISBN:951-40-1792-7>, in Russian <http://urn.fi/URN:ISBN:951-40-1892-3>.
7. *Venäläinen M., Harju A.M., Nikkanen T., Paajanen L., Velling P., Viitanen H.* Genetic variation in the decay resistance of Siberian larch (*Larix sibirica* Lebed.) wood. *Holzforschung.* 55. 2001, 1–6.
8. *Venäläinen M., Harju A.M., Terziev N., Laakso T. & Saranpää P.* Decay resistance, extractive content, and water sorption capacity of Siberian larch (*Larix sibirica* Lebed.) heartwood timber. *Holzforschung.* 60. 2006. 99–103.

ВОДОРАСТВОРИМЫЕ ВЕЩЕСТВА МЕРИСТЕМ *ABIES SIBIRICA L.*: ОСОБЕННОСТИ СЕЗОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ СОСТАВА И СОДЕРЖАНИЯ

Е.В. АЛАУДИНОВА¹, П.В. МИРОНОВ²

¹ СибГУ науки и технологий им. М.Ф. Решетнева, Красноярск, Россия (alaudinovaev@yandex.ru)

² СибГУ науки и технологий им. М.Ф. Решетнева, Красноярск, Россия (mpv175@yandex.ru)

Известно, что у зимующих растений при снижении активности метаболических процессов с завершением периода вегетации в цитоплазме клеток синтезируются водорастворимые соединения, обладающие осморегулирующим, криопротекторным или антифризным действием. Более того, считается, что изменение содержания этих компонентов в клетках является одной из основных реакций на действие низких температур и позволяет многолетним растениям избежать внутриклеточного замерзания, изменяя состояние воды, оставшейся в клетках после низкотемпературного обезвоживания, так, что ее фазовые переходы становятся относительно безопасными. Влияние водорастворимых веществ на физико-химические свойства цитоплазматических растворов живых клеток в значительной степени обусловлено их составом и концентрацией.

Настоящая работа является продолжением исследования сезонных изменений состава и содержания водорастворимых веществ (ВРВ) меристем почек хвойных пород, в частности, *Abies sibirica L.*

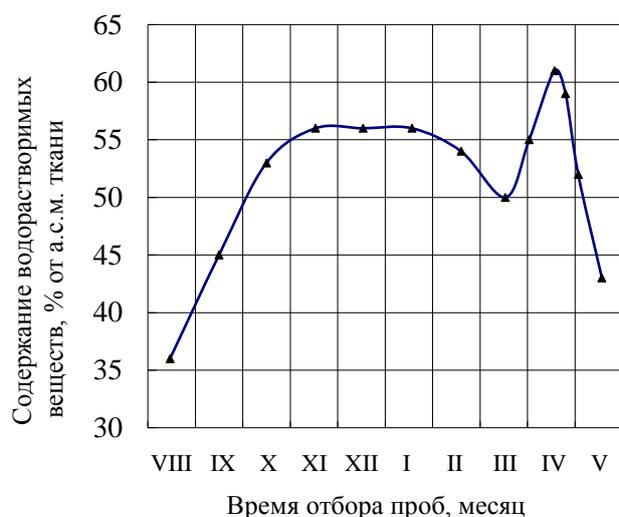


Рис. 1. Сезонная динамика содержания ВРВ в меристемах почек *Abies sibirica L.*

Установлено, что в течение периода исследования содержание суммарных ВРВ в меристемах почек *Abies sibirica L.* существенно изменялось: от 36 до 61 % от а.с.м. ткани (рис. 1). Характер динамики этих соединений имел сходство с таковым лиственницы [1].

В начале сентября содержание ВРВ начинало возрастать, что по срокам совпадало с началом снижения содержания в меристемах воды (рис. 2). При этом наблюдалась обратная корреляционная зависимость между содержанием водорастворимых веществ и влажностью тканей.

Максимальный зимний уровень ВРВ достигался во второй половине ноября, и в течение всего зимнего периода содержание оставалось высоким и стабильным – около 56 %.

Весной, когда процессы жизнедеятельности в клетках активизировались, характер динамики ВРВ у *Abies sibirica L.* приобретал свои особенности.

Обращает на себя внимание, что некоторое снижение содержания наблюдалось уже в конце февраля (примерно на 10 % от зимнего уровня), подтверждая, что в клетках живых тканей метаболические процессы протекают даже при отрицательных температурах. Однако уже во второй половине марта содержание ВРВ начинало резко возрастать, достигая весеннего максимума в середине апреля. Максимум фиксировался примерно в течение недели. Затем содержание снижалось, и к моменту распускания почек

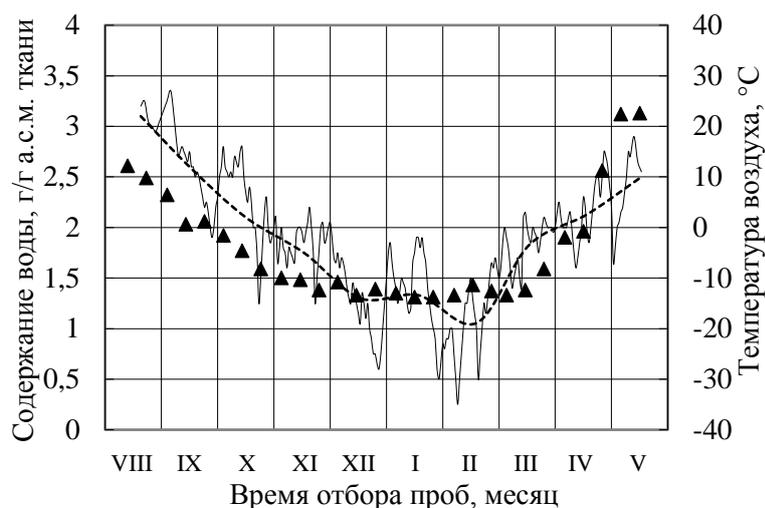


Рис. 2. Сезонная динамика содержания воды в меристемах почек *Abies sibirica* L.

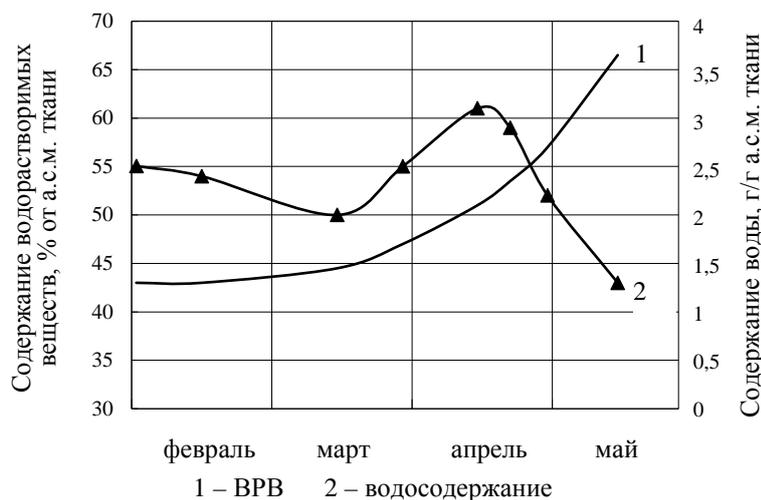


Рис. 3. Изменение содержания ВРВ и воды в клетках меристематических тканей в период набухания почек

состава и свойств компонентов клеток, в том числе ВРВ.

Абсолютный (второй) максимум содержания ВРВ у *Abies sibirica* L. наблюдался весной, когда содержание воды в меристемах значительно увеличивалось вследствие набухания почек. В этих условиях даже при небольших морозах возрастает вероятность внутриклеточной кристаллизации, так как температура начала льдообразования в меристемах при содержании воды 2–2,5 г/г а.с.м. ткани составляет около минус 20 °C [3]. Снижение температуры ниже минус 20 °C в это время маловероятно, поэтому даже кратковременного повышения содержания ВРВ в цитоплазме клеток достаточно для эффективного предотвращения низкотемпературных повреждений.

В течение периода исследования водорастворимые вещества *Abies sibirica* L. на 80–90 % состояли из водорастворимых белков цитоплазмы (ВРБЦ), свободных аминокислот и водорастворимых углеводов. Особенностью состава водорастворимых веществ являлось высокое содержание в зимний период ВРБЦ – около 50 % от суммы водорастворимых

(начало мая) составляло около 43 %. Следует отметить, что изменение содержания ВРВ (как рост, так и снижение), наблюдавшееся в меристемах почек весной, совпадало с ростом водосодержания тканей (рис. 3), что свидетельствует о согласованности этих процессов при подготовке клеток фотосинтетического аппарата к вегетации.

Таким образом, у *Abies sibirica* L. в осенне-зимний период обнаружена тенденция увеличения в меристемах почек доли водорастворимых веществ, определяющих физико-химические свойства цитозоля в состоянии низкотемпературной устойчивости тканей. Следует напомнить, что в клетках вплоть до температуры около минус 40 °C остается жидкая фаза воды, удерживаемая растворимыми веществами цитоплазмы [3]. Ее наличие позволяет предположить, что именно поэтому при низких температурах возможно протекание биохимических процессов, проявляющееся в изменении содержания,

веществ (рис. 4). В августе содержание ВРБЦ в меристемах формирующихся почек было низким; с наступлением осени оно начинало интенсивно увеличиваться и достигало максимального уровня к середине ноября. Существующему представлению о деградации белоксинтезирующего аппарата растительных клеток в осенне-зимний период [2] противоречит установленный нами факт интенсивного роста содержания белка у пихты при формировании низкотемпературной устойчивости меристематических тканей.

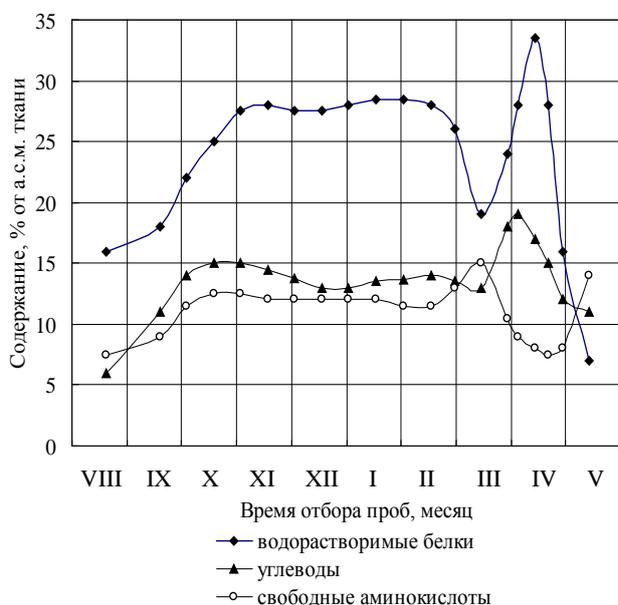


Рис. 4. Сезонная динамика содержания основных групп ВРВ в меристемах почек *Abies sibirica* L.

конец августа – около 6 % от а.с.м. ткани. Осенью содержание быстро увеличивалось и оставалось высоким до марта. Начало марта отмечено увеличением содержания углеводов, коррелирующим с ростом влажности. Весенний максимум на треть превышал среднезимнее значение. Затем содержание водорастворимых углеводов начинало снижаться и перед распусканьем хвои составляло не более 12 % от а.с.м. ткани.

В наименьшем количестве в составе ВРВ содержались свободные аминокислоты (рис. 4). Сентябрь характеризовался ростом содержания свободных аминокислот до 10–11 %. Далее до конца февраля уровень свободных аминокислот в тканях практически не менялся. В конце февраля их содержание вновь начинало возрастать и ко второй половине марта достигало максимума. Вероятно, увеличение пула свободных аминокислот происходило за счет распада водорастворимых белков в этот период (коэффициент парной корреляции составил $R^2 = -0,80$). Изменения содержания водорастворимых белков и свободных аминокислот в период подготовки к активной вегетации также демонстрируют обратную зависимость между этими группами водорастворимых соединений.

Таким образом, для *Abies sibirica* L. при формировании низкотемпературной устойчивости осенью характерно существенное (в 2–3 раза) повышение содержания высокомолекулярных соединений – водорастворимых белков. В результате в меристемах зимующих почек их содержание достигает примерно 30 % от а.с.м. На фоне общего увеличения содержания водорастворимых веществ в меристемах почек увеличивается содержание их низкомолекулярных компонентов до 29–30 % от а.с.м. ткани. Содержание основных групп низкомолекулярных соединений (суммы водорастворимых углеводов и

В марте содержание водорастворимых белков опускалось по сравнению с зимой примерно на 30 %, а затем быстро возрастало до абсолютного максимума в апреле. Этот максимум был кратковременным (менее недели), но в количественном отношении даже превышал зимний. В конце апреля уровень белка начинал быстро снижаться, и перед распусканьем хвои в меристемах почек водорастворимых белков оставалось примерно 5–7 %.

Сезонная динамика содержания водорастворимых углеводов сходна с динамикой белков (рис. 4). Самый низкий уровень углеводов отмечался в

свободных аминокислот) в зимующих почках *Abies sibirica* L. – 26–28 % от а.с.м. ткани.

Данный факт позволяет говорить о том, что в процессе адаптивной эволюции в метаболизме *Abies sibirica* L. выработалось формирование низкотемпературной устойчивости живых тканей почек, обусловленной физико-химическими свойствами как высокомолекулярных, так и низкомолекулярных водорастворимых соединений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алаудинова Е.В., Миронов П.В., Тарнопольская В.В., Саволайнен А.С. Водорастворимые вещества лиственницы сибирской: особенности сезонного изменения состава и содержания // Новые достижения в химии и химической технологии растительного сырья: матер. VII всерос. конф. с междунар. участием. Барнаул: Изд-во АГУ, 2017. С. 42–43.
2. Бочарова М.А., Клячко Н.Л. Влияние низких температур на содержание полисом в тканях растений, различающихся по холодоустойчивости // Физиол. раст. 1988. 6. С. 1182–1188.
3. Низкотемпературная устойчивость живых тканей хвойных: монография // П.В. Миронов, Е.В. Алаудинова, С.М. Репях. Красноярск: СибГТУ, 2001. 221 с.

WATER-SOLUBLE SUBSTANCES OF MERISTEMS *ABIES SIBIRICA* L.: FEATURES OF SEASONAL CHANGES OF THE COMPOSITION AND CONTENT

E.V. ALAUDINOVA¹, P.V. MIRONOV²

¹ Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia
(alaudinovaev@yandex.ru)

² Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia
(mpv175@yandex.ru)

The nature of seasonal changes of water-soluble substances in the buds meristems *Abies sibirica* L. is defined. It is shown that the formation of low-temperature resistance in autumn in the tissues occurs a significant raise of water-soluble compounds, primarily due to an increase (2–3 times) the content of high-molecular compounds – soluble proteins. In wintering buds their content reaches about 30 % from absolutely dry weight. At the same time in meristems, the content of low-molecular components increases to 29–30 %, in which water-soluble carbohydrates and free amino acids are dominated. Thus, low-temperature resistance of buds living tissues *Abies sibirica* L. is due to physico-chemical properties both of high and low molecular weight water-soluble compounds.

МОНО- И ОЛИГОСАХАРИДЫ МЕРИСТЕМ *ABIES SIBIRICA* L.: ОСОБЕННОСТИ СЕЗОННОГО ИЗМЕНЕНИЯ СОСТАВА И СОДЕРЖАНИЯ

Е.В. АЛАУДИНОВА¹, П.В. МИРОНОВ²

¹ СибГУ науки и технологий им. М.Ф. Решетнева, Красноярск, Россия (alaudinovaev@yandex.ru)

² СибГУ науки и технологий им. М.Ф. Решетнева, Красноярск, Россия (mpv175@yandex.ru)

К физиологически важной группе водорастворимых соединений, которые участвуют в разнообразных метаболических процессах, протекающих в живых клетках и тканях растительных организмов, относятся низкомолекулярные углеводы. Учитывая климатические условия Сибирского региона, невозможно переоценить роль углеводов в формировании морозоустойчивого состояния меристематических тканей многолетних хозяйственно ценных древесных видов в осенне-зимний период.

В настоящее время углеводы можно отнести к наиболее изученным классам биомолекул, в том числе и в связи с формированием морозоустойчивого состояния древесных видов. Вместе с тем в научной литературе имеется разноречивая

информация об их участии в реакциях приспособления растительных организмов к низким положительным и отрицательным температурам [3, 8]. К тому же известно, что под действием сезонных или климатических условий состав и содержание водорастворимых углеводов у одних и тех же видов подвержены значительной вариабельности [7].

Хвойные древесные растения, их органы и ткани многократно становились объектом исследования и ранее. При этом распределение водорастворимых углеводов по различным формам (например, моно- и олигосахаридам) и сезонная динамика соотношения этих форм практически не исследованы до сих пор.

Сегодня эти исследования важны по ряду причин: во-первых, установлено, что динамика общего содержания водорастворимых углеводов в меристемах почек морозоустойчивых хвойных видов имеет ярко выраженный сезонный характер, а уровень их содержания изменяется весьма значительно (примерно в 2–2,5 раза); во-вторых, эти соединения обладают высокими водоудерживающими свойствами, которым ранее нами же и была дана количественная оценка [1, 2]. В то же время сезонность физиологических биоритмов, присущая всем многолетним растениям в климатических условиях Сибирского региона, позволяет предположить, что и состав моно- и олигосахаридов в ходе годового цикла подвергается изменениям.

В настоящей работе объектом исследования являлись меристематические ткани почек *Abies sibirica* L. (пихты сибирской). Содержание моно- и олигосахаридов в тканях меристем и их состав определяли методом ГЖХ.

Результаты изучения сезонных изменений содержания моно- и олигосахаридов (рис. 1) показывают, что в меристемах сформированных почек (середина августа) *Abies sibirica* L. содержание моносахаридов составляло около 4 % от а.с.м. ткани; в конце августа их количество начинало увеличиваться, и ко второй половине ноября устанавливалось максимальное среднезимнее содержание – 9–9,5 % от а.с.м. ткани. На протяжении периода низкотемпературной устойчивости (зима) уровень моносахаридов в тканях оставался высоким и стабильным.

В начале весны (март) содержание моносахаридов начинало понижаться и к моменту распускания почек было уже почти вдвое ниже среднезимнего уровня.

Главное отличие характера динамики олигосахаридов от моносахаридов состояло в том, что в течение всего периода исследования (август-май) в содержании олигосахаридов наблюдалось два выраженных максимума – осенний и весенний (рис. 1). Причем в количественном отношении осенний был значительно ниже весеннего, но продолжался почти вдвое дольше.

С начала осени и до середины октября шло интенсивное накопление олигосахаридов; в течение двух месяцев их количество возрастало втрое. В этот период процессы накопления низкомолекулярных форм углеводов шли параллельно, однако темпы роста олигосахаридов были гораздо выше, чем моносахаридов. Но уже в конце октября содержание олигосахаридов в меристемах начинало уменьшаться и к декабрю становилось почти на 40 % ниже максимального, накопление же моносахаридов продолжалось вплоть до декабря.

В течение зимнего периода уровень олигосахаридов (как и моносахаридов) в меристематических тканях почек в меристемах почек *Abies sibirica* L. оставался относительно стабильным. Примерно с середины марта содержание олигосахаридов начинало возрастать быстрыми темпами и в начале апреля достигало весеннего максимума – 12,5–13 % от а.с.м. ткани. Во второй половине апреля содержание олигосахаридов также резко снижалось, и к началу мая в тканях меристем распускающихся почек их оставалось не более 6–7 %.

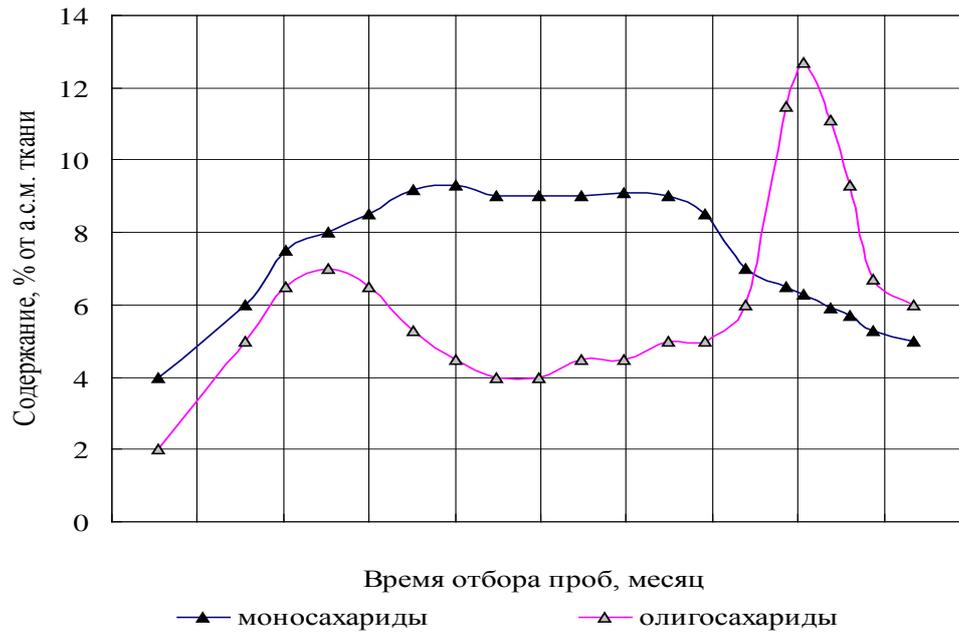


Рис. 1. Сезонная динамика моно- и олигосахаридов в меристемах почек *Abies sibirica* L.

Таким образом, установлено, что в меристемах почек *Abies sibirica* L. с августа по май присутствуют обе формы низкомолекулярных углеводов (и моно-, и олигосахариды). Количество моно- и олигосахаридов в зимний период в устойчивом состоянии в тканях меристем значительно выше, чем в меристемах сформированных (август) и распускающихся (май) почек.

Вместе с тем характер динамики моно- и олигосахаридов в период исследования имеет значительные отличия. Объяснение этого факта может заключаться в следующем: меристемы почек – гетеротрофная ткань, метаболизм которой обеспечивается поступлением углеводов извне, при этом основной транспортной формой углеводов является дисахарид – сахароза [6]. Приток сахарозы обеспечивает опережающий темп роста содержания олигосахаридов над моносахаридами в начале осени, когда олигосахариды, высвобождаясь из процессов синтеза древесной биомассы, активно поступают в сформированные почки из других органов и тканей. В дальнейшем часть олигосахаридов превращается в моносахариды, о чем свидетельствует обратная зависимость между содержанием моно- и олигосахаридов в меристемах с конца октября до начала апреля.

Весенний максимум олигосахаридов (рис. 1), совпадающий по срокам с увеличением содержания воды в меристемах [1], возможно, связан с притоком сахарозы к набухающим почкам в основном из луба – запасующей ткани, поскольку имеются данные [7], что именно в лубе хвойных древесных видов количество водорастворимых углеводов в мае снижается до минимума.

Необходимо отметить, что абсолютный максимум содержания суммарных водорастворимых углеводов в меристемах почек (весенний пик) формируется исключительно за счет увеличения количества олигосахаридов, но не моносахаридов, уровень содержания которых в это время продолжает снижаться. Некоторые исследователи считают повышение содержания олигосахаридов в тканях растений приспособительной реакцией к неблагоприятным условиям и связывают с этим торможение ростовых процессов, другие убеждены в отсутствии такой связи [4, 5]. Многолетние исследования динамики низкомолекулярных углеводов в меристематических тканях почек *Abies sibirica* L. позволяют считать рост содержания

олигосахаридов в начале вегетационного периода (весенний пик) подтверждением того, что у *Abies sibirica* L. эти соединения не являются ингибиторами ростовых процессов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алаудинова Е.В., Симкина С.Ю., Миронов П.В. Сезонные изменения содержания воды в меристематических тканях почек *Picea obovata* L. и *Pinus sylvestris* L. и ее распределение в клетках // Хвойные бореальной зоны. 2007. 4–5. С. 487–491.
2. Алаудинова Е.В., Миронов П.В. Водоудерживающие свойства меристематических клеток зимующих хвойных: роль низкомолекулярных водорастворимых соединений // Новые достижения в химии и химической технологии растительного сырья: матер. всерос. конф. Барнаул, 2009. Ч. 2. С. 284–288.
3. Климов С.В. Пути адаптации растений к низким температурам // Успехи современной биологии. 2001. 1. С. 3–22.
4. Осетрова Г.В. Годичная динамика углеводов у сосны обыкновенной в различных условиях произрастания // Метаболизм хвойных в связи с периодичностью их роста. Красноярск, 1973. С. 68–89.
5. Сергеева К.А. Физиологические и биохимические основы зимостойкости древесных растений. М.: Наука, 1971. 174 с.
6. Соколова С.В. Изучение кинетики поступления и превращения моносахаридов в клетках проводящих пучков *Beta vulgaris* // Физиол. раст. 1972. 6. С. 1282–1291.
7. Судацкова Н.Е. Метаболизм хвойных и формирование древесины. Новосибирск: Наука, 1977. 230 с.
8. Sakai A. Frost Survival of Plants. Berlin, N. Y.: Springer, Ecolog. Stud. 1987. 338 p.

MONO- AND OLIGOSACCHARIDES OF MERISTEM *ABIES SIBIRICA* L.: SEASONAL CHANGES OF COMPOSITION AND CONTENT

E. V. ALAUDINOVA¹, P. V. MIRONOV²

¹ Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia
(alaudinovaev@yandex.ru)

² Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia
(mpv175@yandex.ru)

It is established that in the buds meristems of *Abies sibirica* L., from August to May mono- and oligosaccharides are present. The content of low-molecular carbohydrates in winter is twice as high as in the formed (August) and breakig (May) buds. Dynamics of the content of mono- and oligosaccharides has significant differences. In early autumn, the inflow of sucrose ensures a high growth of the content of oligosaccharides released from the processes of synthesis of woody biomass and entering the formed buds. Later, part of oligosaccharides are converted to monosaccharides, as evidenced by the inverse relationship between their content. The spring maximum of oligosaccharides – about 13 %, is connected with the inflow of sucrose to the swelling buds mainly from the bast and shows that in *Abies sibirica* L. these compounds are not inhibitors of growth processes.

ОПТИМИЗАЦИЯ ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИОКОНВЕРСИИ ОТХОДОВ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА В УСЛОВИЯХ КРАСНОЯРСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ

Г.И. АНТОНОВ¹, О.Э. КОНДАКОВА¹, О.В. ИВАНОВА²

¹ Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (egoan@yandex.ru)

² Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия (ivanovae@yahoo.com)

Для того чтобы повысить производительный потенциал и улучшить физические свойства почвы, практикуется внесение древесных отходов: опилок, щепы, коры. Однако включение в экосистему свежих опилок вызывает активное поглощение азота из почвы при разложении, что провоцирует азотное голодание растений, хотя при этом наличие в массе опилок целлюлозно-лигнинного комплекса способствует обогащению почвы гумусом и ее оструктуриванию. Чаще всего при выращивании сельскохозяйственных культур в опилки добавляют довольно высокие дозы минеральных удобрений и проводят длительное компостирование опилочной массы [2, 4, 10, 11]. Но при искусственном лесовыращивании совсем нет необходимости применения дорогостоящих минеральных удобрений. В последнее время все чаще используется способность почвенной микробиоты к улучшению качества состояния окружающей среды. При этом функциональная активность микроорганизмов и почвенных беспозвоночных применяется для активной деструкции органических соединений в виде щепы, опилок и других компонентов лигноцеллюлозного комплекса [13].

Для ферментативно-микробиологической переработки свежей опилочной массы достаточно применения «затравки», состоящей из микродоз удобрений.

Цель работы заключалась в разработке опилочно-почвенных композиций с добавлением микродоз удобрений для искусственного лесовосстановления.

В задачи исследования входило:

1. Создать удобрительные композиции на основе опилок для инициации лесовыращивания и оптимизации плодородия почв.

2. Изучить динамику биохимической и микробиологической активности почв под насаждениями сосны и ели.

3. Выявить удобрительные композиции, наиболее подходящие в плане разложения древесно-опилочной массы, а также для активизации микробно-ферментного пула почвы.

Микробиологическая деструкция является очень важным процессом, который определяет существование биологического круговорота питательных элементов в природе.

Деструкция протекает повсюду и является непрерывным процессом, от которого зависит образование целого ряда исключительно важных веществ на поверхности земли и, главным образом, плодородие почвы.

Изучению микробиологической деструкции посвящается большое количество работ как зарубежных, так и отечественных исследователей [3, 6, 7, 8].

Главные явления, происходящие в процессе микробиологической деструкции, – это минерализация, гумификация и консервация [1].

Минерализация – бактериальный процесс, ведущий к полному разложению органических соединений. Конечные продукты минерализации – это минеральные неорганические соединения, главным образом CO_2 , H_2O , NH_3 , нитраты. Кроме того, в процессе минерализации происходит деструкция сложных веществ, содержащих S, Fe, P и некоторые другие химические элементы, с образованием сульфатов, H_2S , сульфидов.

Почвенные ферменты, выделяемые различными группами микроорганизмов (бактериями, актиномицетами, грибами), – стабильные катализаторы протекающих в почве многоступенчатых биохимических процессов. Гидролитический распад высокополимерных соединений (целлюлозы, крахмала, лигнина, нуклеиновых кислот, белков и т. д.) представляет собой важнейший этап превращения органического вещества, предшествующий стадии окислительно-восстановительных процессов гумусообразования [5]. Таким образом, почвенные ферменты обеспечивают растения и микроорганизмы подвижными и доступными питательными веществами. От активности почвенной микробиоты зависит интенсивность разложения и трансформации органических соединений. Активность ферментов является показателем биологического плодородия почв и степени антропогенного воздействия.

Большое количество работ как зарубежных, так и отечественных исследователей посвящается изучению влияния микробно-ферментной активности [5, 7, 9, 12] на плодородие почвы [10, 13].

В данной работе для оценки биологической активности почвы под саженцами использовалась такая характеристика, как потенциальная целлюлозоразлагающая способность [5].

На участках с сосновыми насаждениями интенсивность целлюлозоразложения постепенно повышалась к концу вегетативного периода. Наибольший показатель зарегистрирован в сентябре на

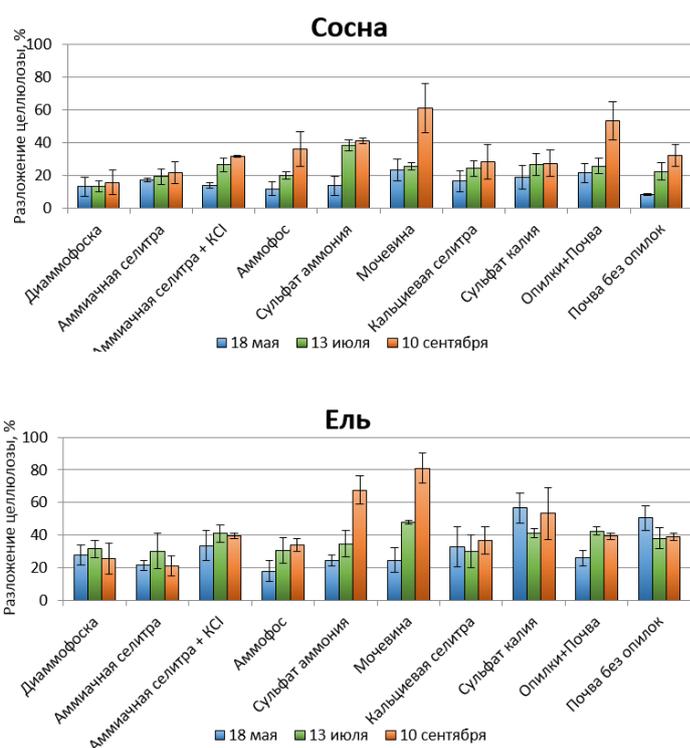


Рис. 1. Интенсивность целлюлозоразложения в течение вегетационного периода

участке с мочевиной (60,94 %), также наблюдается значительное повышение целлюлозоразложения в контроле (53 %).

Под елью в вариантах с диаммофоской, аммиачной селитрой, аммиачной селитрой + КС1 и в контроле (почва+опилки) наблюдалось увеличение микробиологической активности в середине вегетационного периода, возможно, из-за активной вегетации растений, однако самые высокие показатели – на участках, удобренных мочевиной и сульфатом аммония в конце сезона.

На остальных участках интенсивность разложения целлюлозы повышалась в течение вегетационного периода, но в почве без опилок, наоборот, снижалась с мая по сентябрь, что

может указывать на недостаток минерального питания.

Таким образом, были созданы удобрительные композиции на основе опилочно-почвенных субстратов и микродоз минеральных удобрений.

Интенсификация целлюлозоразложения в июле и сентябре является результатом активной вегетации растений, роста численности различных эколого-трофических микроорганизмов и общей активизации микробно-ферментного пула почвы. Благоприятно на разложение растительных остатков влияет наличие в почве

питательных веществ. Наиболее удачными вариантами удобрительных композиций для активизации микробиоты оказались мочевины, так как это удобрение успешно восполняет дефицит азота, вызываемый внесением опилок, и сульфат аммония в качестве дополнительного источника серы, необходимого как для роста и активной вегетации растений, так и для жизнедеятельности микроорганизмов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биология почв Юга России. Ростов-на-Дону: Изд-во ЦВВР, 2004. С. 350.
2. Рабинович Г.Ю., Ковалев Н.Г., Сульман Э.М. Биоконверсия органического сырья в удобрения и кормовые добавки: микробиол. аспекты. М-во образования РФ, Твер. гос. техн. ун-т, 1999. 167 с.
3. Сорокин Н.Д. Микробиологическая диагностика лесорастительного состояния почв Средней Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. 222 с.
4. Степень Р.А., Ренях С.М. Альтернативные пути рациональной переработки древесных отходов // Инвестиционный потенциал лесопромышленного комплекса Красноярского края. Лесосибирск, 2001. С. 116–121.
5. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. Москва: Наука, 2005. 252 с.
6. Arantes V., Milagres A.M.F., Filley T.R. et al. Lignocellulosic polysaccharides and lignin degradation by wood decay fungi: the relevance of nonenzymatic Fenton-based reactions // Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology. 2010. 38. Pp. 541–555.
7. Baldrian P. Microbial enzyme-catalyzed processes in soils and their analysis // Plant Soil Environ. 2009. 55(9). Pp. 370–378.
8. Coleman D.C., Crossley D.A. Fundamentals of Soil Ecology // Academic Press, Elsevier Science (USA), 1996. 205 p.
9. Datta R., AditiKelkar A., DivyashriBaraniya D. et al. Enzymatic Degradation of Lignin in Soil: A Review // Sustainability. 2017. 9, 1163. DOI: 10.3390/su9071163.
10. Hättenschwiler S., Tiunov A.V., Scheu S. Biodiversity and litter decomposition in terrestrial ecosystem // Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics. 2005. 36. Pp. 191–218.
11. Igboke P.K., Asadu C.O., Okpe E.C. et al. Manufacture of Bio Fertilizer by Composting Sawdust and Other Organic Waste // International Journal of Novel Research in Physics Chemistry & Mathematics. 2015. 2(3): 6–15.
12. Mukhopadhyay S., Roy S.N., Joy V.C. Enhancement of soil enzyme activities by the feeding impact of detritivore arthropods on tropical forest tree leaf litters // Tropical Ecology. 2014. 55(1): 93–108.
13. Römbke J., Höfer H., Garcia M. et al. Feeding activities of soil organisms at four different forest sites in Central Amazonia using the bait lamina method // Journal of Tropical Ecology. 2006. 22: 313–320.

AFFORESTATION OPTIMISATING USING A BIOCONVERSION OF SAWMILL WASTES IN KRASNOYARSK FOREST-STEPPE

G.I. ANTONOV¹, O.E. KONDAKOVA¹, O.V. IVANOVA²

¹ V.N. Sukachev Institute of Forest SBRAS, Krasnoyarsk, Russia (egoan@yandex.ru)

² Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia (ivanovae@yahoo.com)

The using of natural capacity of soil microbiota for the environmental condition quality improvement called bioremediation largely increases. In such case functional activity of microorganisms and soil invertebrates are employed for active destruction of organic compounds in the form of chipped wood, saw powder and other components of forest industry. Our collective developed the model experiment on ecological-efficient utilizing of chipped-wood dump. The energy of microorganisms of fertile topsoil and their biochemical activity optimization with microdoses of fertilizer compounds are used in our experiment. Addition of sawdust pulp substrates with microdoses of various mineral fertilizers has significantly increased cellulose-decomposing capacity of soil.

ОСОБЕННОСТИ ЛИГНИФИКАЦИИ РАННЕЙ И ПОЗДНЕЙ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

Г.Ф. АНТОНОВА¹, Т.В. ЖЕЛЕЗНИЧЕНКО², В.В. СТАСОВА¹

¹ Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (antonova_cell@mail.ru, vistasova@mail.ru)

² Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, Новосибирск, Россия (zhelez05@mail.ru)

Физико-механические свойства древесины зависят от условий развития клеток в ходе последовательных процессов их образования камбием, роста растяжением и отложения веществ вторичных стенок (созревания). На каждый из этих процессов влияет комплекс внешних факторов, первоначально действующих на физические события в клетках (в том числе на уровне мембран), а затем и на биохимические изменения в их метаболизме, которые радикальным образом отражаются на морфогенезе клеток и, как следствие, на их морфометрических параметрах. Примером таких различий может служить процесс формирования в годичном приросте хвойных двух слоев ксилемы (ранней и поздней), трахеиды которых значительно различаются по радиальному размеру и толщине клеточной стенки из-за изменений условий роста и развития клеток под влиянием различного сочетания внешних факторов, главными из которых являются температура и доступность влаги. Последний фактор является решающим при переходе развития ксилемных производных камбия от раннего к позднему типу трахеид. В литературе приведено немало примеров влияния недостатка влаги на образование позднего слоя трахеид в годичном приросте хвойных. Снижение внутреннего водного потенциала клеток ведет к изменениям содержания метаболитов, необходимых для развития клеточных стенок, таких как углеводы, фенольные соединения, и веществ, регулирующих окислительно-восстановительный потенциал клеток, а также состава и структуры компонентов стенок трахеид.

Целью исследования являлось изучение процесса лигнификации на последовательных стадиях развития вторичных стенок трахеид при формировании ранней и поздней древесины в стволах сосны обыкновенной и изменений в составе и структуре лигнина на этих стадиях. Слои клеток с разной степенью развития были собраны со ствольной части деревьев сосны обыкновенной в периоды, когда все клетки развивающегося слоя соответствовали либо ранней, либо поздней ксилеме.

Лигнин выделяли тиогликолевым методом [1] после исчерпывающего удаления из полученных образцов спирторастворимых веществ, что позволило дополнительно оценить состав метаболитов, сопровождающих развитие стенок клеток и их лигнификацию. В частности, были определены углеводы и оксикоричные кислоты [2] как предшественники лигнина, а также аскорбиновая кислота, определяющая уровень окислительно-восстановительных процессов в клетке [3]. В ходе выделения лигнина были получены две фракции, отличающиеся по степени растворимости в спирте, – ЛТГ-I (спирторастворимая) и ЛТГ-II (спиртонерастворимая). Процесс лигнификации на разных стадиях оценивали как по общему содержанию двух фракций в расчете на сухой вес, так и по интенсивности биосинтеза лигнина, рассчитанной по приросту количества лигнина на каждой из стадий созревания трахеид относительно общего его содержания в клетках зрелой ксилемы. Кроме того, для каждого образца определяли содержание целлюлозы, отложенной на каждой из стадий созревания клеток, и прирост площади поперечного сечения стенок трахеид [4].

Установлено, что содержание лигнина в стенках клеток двух типов трахеид в ходе их созревания изменяется противоположно как по сумме двух фракций (рис. 1), так и по их приросту на каждом этапе лигнификации. По мере созревания ранних трахеид

ЛТГ-I уменьшается, тогда как ЛТГ-II увеличивается. Напротив, в поздней ксилеме ЛТГ-I увеличивается, а ЛТГ-II уменьшается в ходе лигнификации, указывая на высокий уровень биосинтеза лигнина в стенках клеток в самом начале процесса.

Данные первого этапа исследований показали, что отложение лигнина идет с противоположной динамикой. В ранней ксилеме лигнификация постепенно усиливается с созреванием трахеид, тогда как в поздней ксилеме интенсивный синтез лигнина идет сразу в начале процесса. Это свидетельствует о разных условиях, в которых происходит полимеризация предшественников лигнина в ранней и поздней ксилеме. Аналогичные данные были получены при исследовании лигнификации в стволах лиственницы сибирской [5].

На втором этапе изучали состав структурных единиц спиртонерастворимой фракции лигнина (ЛТГ-II) с использованием методов щелочного окисления, ацидолиза, кислого гидролиза и ТСХ. Были обнаружены значительные различия в структуре лигнина как на каждом из этапов лигнификации, так и в зависимости от типа трахеид. В ходе лигнификации содержание и молярные отношения гваяцильных и синрингильных единиц, оцененные по отношению синрингилальдегида (S) и ванилина (V) как продуктов щелочного окисления (рис. 2), а также содержание п-гидроксифенильных субъединиц изменяются в ранней и поздней древесине противоположно.

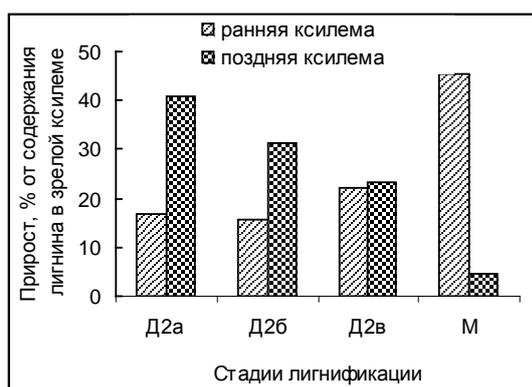


Рис. 1. Прирост лигнина на последовательных стадиях лигнификации ранней и поздней ксилемы. М – зрелая ксилема



Рис. 2. Отношение (молярное) синрингилальдегида (S) и ванилина (V) на последовательных стадиях лигнификации ранней и поздней ксилемы

При созревании ранней ксилемы относительное увеличение синрингильных структур в лигнине сопровождалось повышением п-гидроксифенильных единиц, тогда как в поздней ксилеме содержание синрингильных и п-гидроксифенильных уменьшалось к концу лигнификации, а содержание гваяцильных структур увеличивалось. Изменялись также количество связей и природа связи лигнина с гемицеллюлозами клеточной стенки. В препаратах лигнина обоих типов ксилемы содержание углеводов, связанных с глобулами лигнина простыми связями, на порядок больше, чем связанных сложноэфирными связями. Но и в этом случае существуют различия в количестве связей в зависимости от типа ксилемы. В ходе лигнификации ранней ксилемы количество углеводов, присоединенных простыми эфирными связями, практически не менялось, тогда как содержание углеводов, участвующих в сложной эфирной связи, постепенно уменьшалось. Лигнификация поздней ксилемы сопровождалась уменьшением количества углеводов, присоединенных к лигнину как простыми, так и сложными связями, и резким увеличением последних в зрелой ксилеме. Гемицеллюлозы, включенные в такие связи, содержали главным образом

остатки ксилозы и арабинозы. Содержание оксикоричных кислот, принимающих участие в этих связях, также изменялось в зависимости от стадии и типа древесины.

Данные указывают как на значительные изменения в составе структурных субъединиц лигнина и его связей с гемицеллюлозами клеточной стенки в ходе конденсационных процессов в обоих типах ксилемы, так и на различия в метаболизме при созревании и лигнификации ранних и поздних трахеид.

Таким образом, процесс лигнификации двух слоев годичного прироста различается по динамике отложения лигнина, составу его структурных единиц в ходе этого процесса, их комбинации и связей полимера с гемицеллюлозами клеточного матрикса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Venverloo C.J. The lignin of *Populus nigra* L. cv. Italica. A comparative study of the lignified structures in tissue cultures and the tissue of the trees // Acta Bot Neerl. 1969. 18: 241–314.
2. Антонова Г.Ф., Железниченко Т.В., Стасова В.В. Изменение содержания и состава фенолкарбоновых кислот в ходе роста клеток ксилемы сосны обыкновенной // Онтогенез. 2011. Т. 42. № 4. С. 276–284.
3. Антонова Г.Ф., Стасова В.В., Вараксина Т.Н. Аскорбиновая кислота и развитие клеток ксилемы и флоэмы в стволе сосны обыкновенной // Физиология растений. 2009. Т. 56. № 2. С. 210–219.
4. Antonova G.F., Varaksina T.N., Zheleznicenko T.V., Stasova V.V. Lignin deposition during earlywood and latewood formation in Scots pine stems // Wood Science and Technology. 2014. 48. 5. 919–936. DOI: 10.1007/s00226-014-0650-3.
5. Antonova G.F., Varaksina T.N., Stasova V.V. The differences in the lignification of earlywood and latewood in larch (*Larix sibirica* Ldb.) // Eurasian J For Res. 2007. 10 (2): 149–161.

PECULIARITIES OF LIGNIFICATION IN EARLYWOOD AND LATERWOOD IN SCOTS PINE

G.F. ANTONOVA¹, T.V. ZHELEZNICHENKO², V.V. STASOVA¹

¹ V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (antonova_cell@mail.ru, vistasova@mail.ru)

² Central Siberian botanical garden of SB RAS, Novosibirsk, Russia (zhelez05@mail.ru)

Lignification in early and late xylem of annual wood increment in Scots pine are different by the dynamics of lignin deposition, by the composition of its structural units during the process, their combination and by the bonds of forming polymer with hemicelluloses of cell wall matrix.

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ ЗДОРОВЫХ И УСЫХАЮЩИХ ДЕРЕВЬЕВ ПИХТЫ СИБИРСКОЙ

Е.В. БАЖИНА¹, В.В. СТАСОВА¹, А.А. ВЛАСОВА²

¹ Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (genetics@ksc.krasn.ru)

² Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия (annavlasova_97@mail.ru)

В последние десятилетия в темнохвойных формациях Сибири наблюдается интенсивное усыхание пихты сибирской [1, 2]. Усыхающие деревья характеризуются снижением продуктивности, преждевременным старением, уменьшением прироста в высоту и по диаметру, а также уменьшением линейного прироста побегов, хлорозами, некрозами хвои и нарушением процессов половой репродукции. Повреждение деревьев, как правило, начинается в возрасте устойчивого вступления в репродуктивную фазу (90 и более лет), при этом симптомы повреждения локализуются в подверхушечной части кроны дерева, в мужском генеративном ярусе.

Одним из чувствительных показателей древесных растений, реагирующим на любые изменения внешних условий и гомеостаза особей, является ширина годичного кольца древесины [5]. Показано, что в условиях техногенной нагрузки уменьшается ширина годичных приростов, наблюдаются структурные изменения в тканях ствола [5]. У усыхающих деревьев пихты наблюдаются изменения прироста, которые не могут быть объяснены только климатическими изменениями [7].

Для выявления особенностей повреждения пихты сибирской (*Abies sibirica* Ledeb.) было проведено сравнительное изучение анатомии древесины морфологически здоровых и усыхающих деревьев, произрастающих на территории заповедника «Столбы».

Исследования проводились в среднегорном поясе (верховья р. Калтат в 5–6 км от северо-восточной границы заповедника с Красноярском, юго-западный и северо-западный склоны к р. Кедровый, 640–730 м над у. м.). Характеристика места сбора образцов и модельных деревьев представлена в табл. 1. Для определения анатомо-морфологических характеристик древесины из нижней части ствола десяти модельных деревьев с помощью возрастного бурава отбирались керны.

Таблица 1. Характеристика модельных деревьев пихты сибирской

| Условия произрастания | Состав древостоя | Тип леса | Возраст, лет | Диаметр на 1,3 м, см |
|--------------------------|------------------|---|--------------|----------------------|
| 1. Юго-западный склон | 9П1Б+К, Е | Пихтач разнотравно-зеленомошно-вейниковый | 125±2,9 | 29±1,4 |
| 2. Северо-западный склон | | | 129±22,6 | 29±1,9 |

На поперечных срезах кернов исследовали последние 5 годичных слоев ксилемы, прилегающих к камбию. Срезы окрашивали метиленовым синим и фиксировали в глицерине. Препараты древесины фотографировали с помощью светового микроскопа с цифровым окуляром DCM-900 с объективом ×20. Анализ изображений проводили с использованием программы PhotoMaster 1.31. На фотографиях измеряли морфологические показатели трахеид типичной ранней и поздней ксилемы. В измерения не включали первые трахеиды ранней древесины, трахеиды переходной зоны от ранней древесины к поздней и терминальной древесине (2-3 клетки в самом конце годичного кольца), так как трахеиды этих зон не могут считаться типичными из-за особенностей своего развития [6].

Результаты исследований показали, что деревья пихты сибирской, растущие в верховьях р. Калтат, характеризуются типичным для данного вида габитусом: узкопирамидальной формой кроны, апикальной доминантностью, отрицательным геотропизмом ветвей, строгой ярусностью кроны по типам сексуализации. На северо-западном склоне наблюдаются изменения в морфоструктуре кроны деревьев: появляется подверхушечная зона усыхания, увеличивается угол отхождения веток от ствола, утрачивается апикальная доминантность. Деструктивные процессы наблюдаются на расстоянии 0,5–1,0 м от вершины дерева. У сильно поврежденных деревьев происходит изреживание хвои по всей кроне. Усыхание начинается, как правило, в верхней части мужского генеративного яруса. Кроме того, выявлены деревья, у которых наблюдается усыхание вершины (верхние 0,37 м от вершины), затем следуют несколько мутовок с ветвями женской сексуализации без признаков повреждения (протяженность до 0,6 м), после чего идет усохшая часть кроны, занимающая до 3,3 м. Мужской генеративный ярус и переходная зона между женским и мужским ярусом усохли полностью, нижняя часть живых ветвей кроны представлена вегетативным ярусом.

Анатомические исследования выявили значительные различия ширины годичных колец ксилемы пихты сибирской (рис. 1, 2). Древесина усыхающих деревьев имеет более узкие годичные кольца, особенно в последние годы. Клетки ранней древесины таких деревьев характеризуются меньшим радиальным диаметром, но большей толщиной клеточной стенки. Ранние трахеиды также имеют большую площадь поперечного сечения люмена и меньшую — клеточной стенки, тогда как поздние — наоборот.

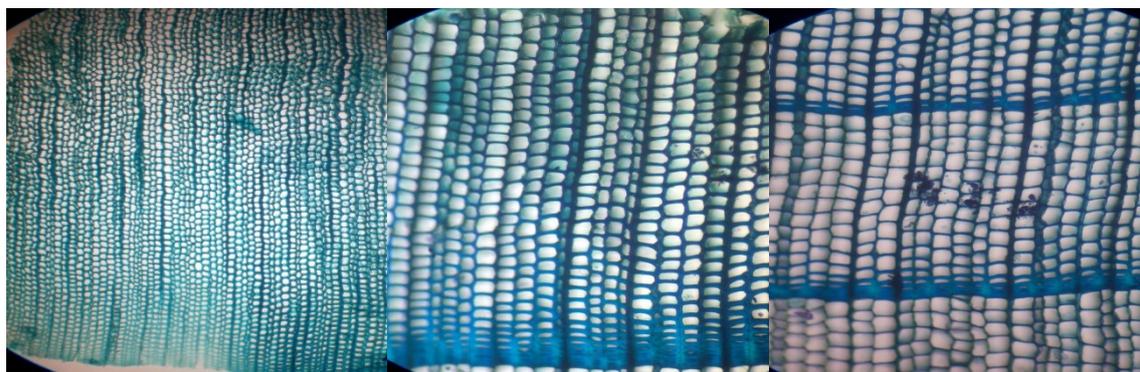


Рис. 1. Годичные кольца ксилемы пихты сибирской разной ширины

Толщина годичного прироста ствольной ксилемы у деревьев разного состояния достоверно различалась лишь в 2016 г. При этом у усыхающих деревьев толщина годичного слоя была достоверно меньше, чем у здоровых, несмотря на то, что по количеству клеток различий не выявлено. Содержание поздней древесины, рассчитанное по количеству поздних трахеид в процентном отношении к общему числу трахеид в радиальном ряду годичного слоя, составляет в среднем 32,5 % у стволов морфологически здоровых деревьев пихты и около 23,5 % – у усыхающих (рис. 3). Различия в содержании поздней древесины между здоровыми и усыхающими деревьями достоверны ($p < 0,05$). Колебания этого показателя по годам у деревьев различного жизненного состояния незначительны. Следует отметить, что, несмотря на достаточно высокое процентное содержание поздней древесины, рассчитанное по количеству клеток, по объему в ежегодном приросте поздняя древесина значительно уступает ранней, так как поздние трахеиды имеют очень маленький радиальный диаметр.

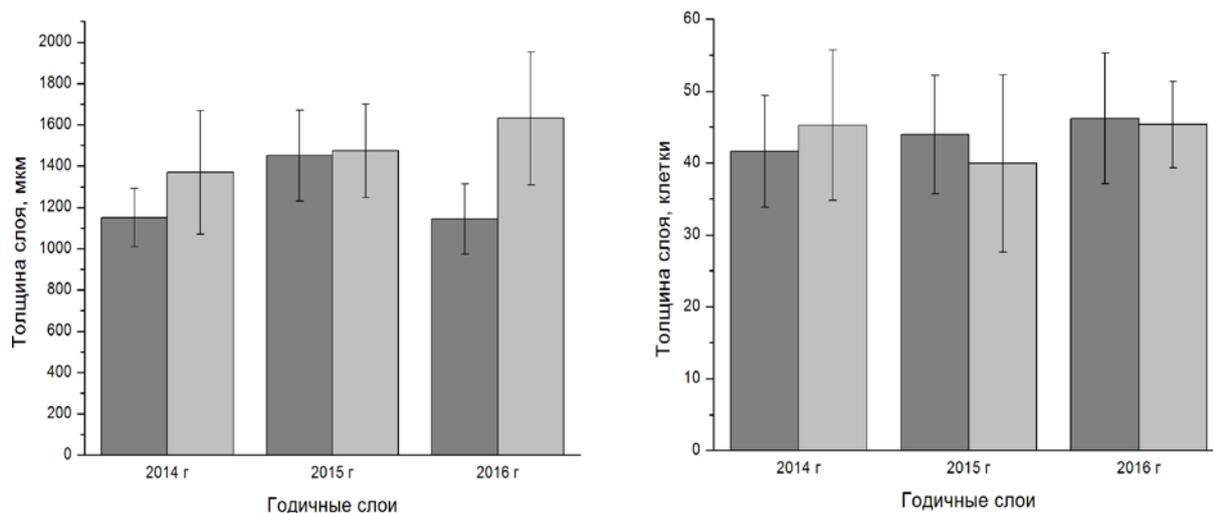


Рис. 2. Средняя толщина годичных приростов ксилемы в стволах пихты сибирской: ■ – здоровые деревья, ■ – усыхающие деревья

Содержание лучевой паренхимы, выполняющей функции как радиального транспорта, так и запасаания питательных веществ, также практически не различается.

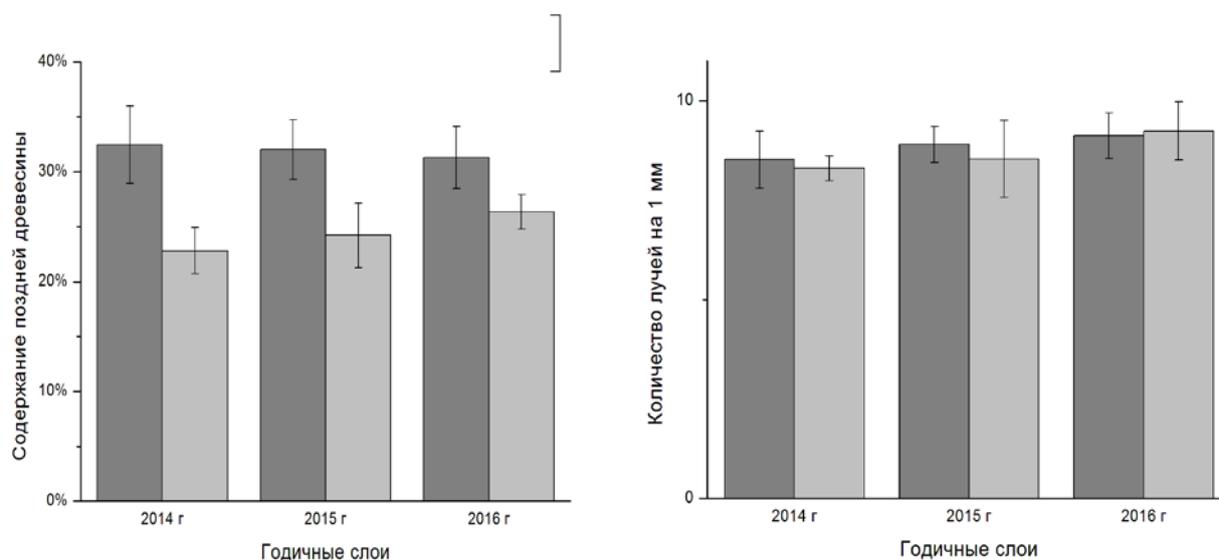


Рис. 3. Содержание поздней древесины (по количеству клеток, %) и лучевой паренхимы (количество лучей на 1 мм поперечного среза) в годичных слоях пихты сибирской: ■ – здоровые деревья, ■ – усыхающие деревья

Существенные различия выявлены по размерам трахеид, слагающих годичный прирост. Усыхающие деревья характеризуются меньшими радиальными размерами трахеид и их люменов, что объясняет меньшую толщину годичного прироста при незначительном различии в количестве клеток. Тангентальный диаметр клеток и люменов практически не изменяется, так как эта величина в целом слабо варьирующая [3]. Толщина клеточных стенок усыхающих деревьев значительно больше, чем у здоровых, особенно в ранней древесине. Площадь поперечного сечения ранних трахеид достоверно не различается в ксилеме деревьев разного жизненного состояния, как и поздних трахеид. Площадь поперечного сечения люменов ранних трахеид у здоровых деревьев достоверно больше, чем у усыхающих, тогда как у поздних наблюдается

обратная картина. При этом клеточные стенки ранней древесины усыхающих деревьев отличаются не только большей толщиной, но и большей площадью поперечного сечения. Можно предположить, что это является проявлением неспецифической защитной реакции дерева. В поздней древесине усыхающих деревьев площадь поперечного сечения клеточных стенок существенно меньше, чем у здоровых, что может быть связано с недостатком питательных веществ в период формирования поздней древесины или уменьшением продолжительности ее развития [4]. В ксилеме усыхающих деревьев обнаружены травматические смоляные ходы (рис. 4), которых древесина пихты в норме не содержит.

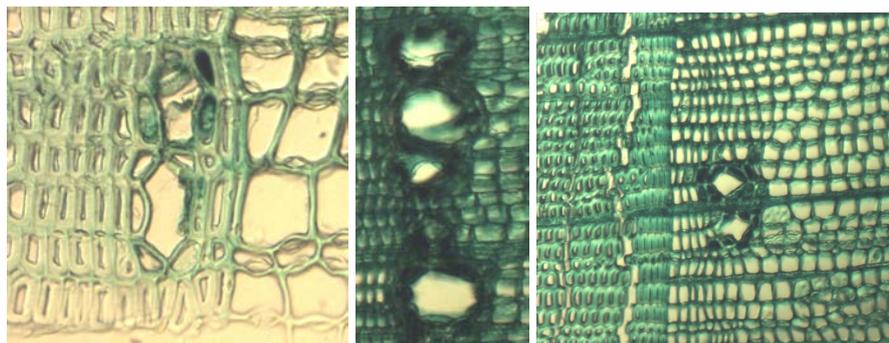


Рис. 4. Травматические смоляные ходы пихты сибирской

ЛИТЕРАТУРА

1. Бажина Е.В., Третьякова И.Н. К проблеме усыхания пихтовых лесов // Успехи современной биологии. 2001. 121 (6). С. 626–631.
2. Бажина Е.В., Сторожев В.П., Третьякова И.Н. Усыхание пихтово-кедровых лесов Кузнецкого Алатау в условиях техногенного загрязнения // Лесоведение. 2013. 2. С. 15–21.
3. Стасова В.В., Антонова Г.Ф. Развитие годичного слоя древесины ствола лиственницы сибирской // Лесоведение. 1987. № 6. С. 36–45.
4. Чавчавадзе Е.С. Древесина хвойных. Л.: Наука, 1979. 190 с.
5. Экологическое состояние пригородных лесов Красноярска / отв. ред. д.б.н., проф. Л.И. Милютин. Новосибирск: Акад. изд-во «Гео», 2009. 190 с.
6. Яценко-Хмелевский А.А. Основы и методы анатомического исследования древесины. Л.-М.: Изд-во АН СССР, 1954. 337 с.
7. Ulrich B. Eine okosystemare Hypothese uber die Ursachen des Tannensterbens (*Abies alba* Mill.) // Forstw. Cbl. 1981. Jahrgang 100. H. 3–4. S. 228–236.

THE PECULIARITIES OF WOOD STRUCTURE IN HEALTHY AND DRYING FIR TREES

E.V. BAZHINA¹, V.V. STASOVA¹, A.A. VLASOVA²

¹ V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (genetics@ksc.krasn.ru)

² Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia (annavlasova_97@mail.ru)

The peculiarities of *Abies sibirica* Ledeb. wood structure of healthy and drying trees growing at Stolby reservation have been studied. Xylem of drying trees have traumatic resin strokes, which not revealed in healthy trees.

НОВЫЕ ПРИМЕНЕНИЯ ДРЕВЕСНЫХ МИКРОСТРУКТУР В ПРИБОРАХ И УСТРОЙСТВАХ

С.А. ВИНОКУРОВ¹, А.Е. ЕРШОВ¹, Н.В. КЛАССЕН^{1,2}, Г.А. ГОРБАЧЕВА², В.П. ГАЛКИН²,
В.Г. САНАЕВ²

¹ Институт физики твердого тела РАН, Черноголовка, Россия (klassen@issp.ac.ru)

² Мытищинский филиал МГТУ им. Баумана, Мытищи, Россия (gorbacheva-g@yandex.ru)

Древесина – один из первых природных материалов, используемых человечеством с самых древних времен: сначала как топливо, затем в строительстве плюс прочие конструкционные применения. Сейчас быстро расширяется использование главного микрокомпонента древесины – целлюлозы (прежде всего, в производстве бумаги и утилизируемых упаковок). Но по мере развития нанотехнологий и активизации поиска эффективных приемов альтернативной энергетики, а также растущего из-за экологических проблем стремления к природоподобным технологиям все больше обращают на себя внимание уникальные структуры и процессы в микрокомпонентах древесной и зеленой масс. Исследуя их электромеханические и фотоэлектрические свойства, мы установили, что имеются реальные возможности быстро создать на этой основе обширный набор приборов и устройств для радиационной техники, солнечной энергетики, экстремальных условий эксплуатации, производство которых будет и экологично, и экономично.

По части радиационной техники в первую очередь следует назвать биоморфные устройства прямого преобразования ионизирующих излучений в электроэнергию. С этой целью используется микрокапиллярная морфология древесины. Фрагменты древесных стволов подвергаются пиролизу нагревом в течение нескольких часов в бескислородной среде до момента, когда остается только матрица углеродного остова

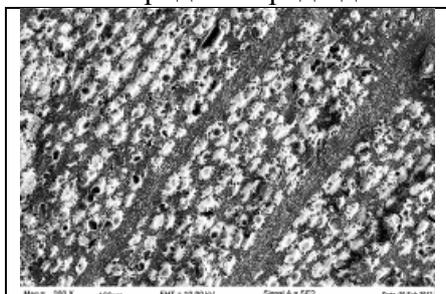


Рис. 1. Электронная микроскопия торцевого среза микрокапиллярной матрицы из карбида кремния, приготовленной пиролизом и силицированием заготовки сосны, с микрокапиллярами, заполненными сплавом свинца с висмутом

[1]. Затем эта матрица механически обрабатывается для придания ей требуемой конечной формы изделия, после чего организуется соединение углерода матрицы с кремнием в виде расплава или паров. В итоге образуется микрокапиллярная матрица той же внешней формы, но с межкапиллярными перегородками из полупроводникового карбида кремния, обладающего высокой механической и термической прочностью. После этого регулируемой обработкой в кислородсодержащей среде на карбидокремниевых стенках формируется тонкий слой электроизолирующей двуокиси кремния. Если конечное изделие предназначено для преобразования гамма-излучения в электричество, микрокапилляры матрицы заполняются легкоплавким тяжелым металлом (свинцом, висмутом или их сплавом) (рис. 1). Для преобразования в электричество одновременно

и гамма-, и нейтронного излучений внутренние полости капилляров заполняются водным электролитом. Принцип работы таких преобразователей, использующий микрокапиллярную морфологию древесины, основан на том, что коэффициенты поглощения этих излучений в разных компонентах матриц существенно различны. Для гамма-радиации поглощение пропорционально четвертой степени атомного номера поглощающего вещества [2]. Поэтому при заполнении капилляров свинцом (атомный номер 82) они будут поглощать гамма-кванты более чем в тысячу раз сильнее, чем

межкапиллярные стенки, где самый тяжелый элемент – кремний с атомным номером 14. Для быстрых нейтронов работает обратная зависимость передачи энергии нейтрона атому от номера элемента: чем атомы легче, тем эффективнее они отбирают энергию у нейтронов. Наиболее эффективны в этом случае преобладающие в воде атомы водорода. Атомы углерода и кремния из межкапиллярных стенок будут отбирать энергию у нейтронов гораздо слабее. Зато при облучении гамма-потокотом стенки будут поглощать его энергию в тысячи раз сильнее, чем внутрикапиллярная вода. В обеих вышеописанных ситуациях ионизирующее облучение таких матриц создаст сильное разделение электрических зарядов между внутренними полостями капилляров и их стенками. Схема прямого одновременного преобразования и гамма-, и нейтронного излучений в электроэнергию показана на рис. 2.

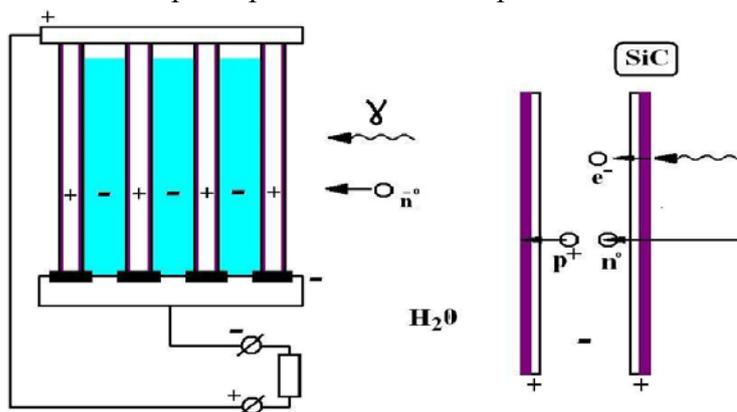


Рис. 2. Схема прямого преобразования энергий нейтронного и гамма-излучений в электричество в биоморфном устройстве, изготовленном из древесины

стенки, заряжая их положительно (а воду – отрицательно). Таким образом, оба вида излучения одновременно создают во внутрикапиллярной жидкости отрицательные заряды, а в стенках капилляров – положительные. В левой части показано, как из такого разделения зарядов извлекается электрический ток: положительный верхний электрод контактирует со стенками, отрицательный нижний – с внутрикапиллярной жидкостью.

Такого типа биоморфные матрицы, отбирая энергию у ионизирующих излучений, служат не только генераторами электричества, но и защитными фильтрами радиации. Изготовление этих матриц не требует сложного оборудования, технологически просто и экономично. Например, можно изготавливать их в виде кирпичей, из которых затем формировать защиту атомных реакторов вместо бетона, получая дополнительную энергию. То же относится к бассейнам – отстойникам отработанных ТВЭЛов на АЭС – и к хранилищам радиоактивных отходов. Преимуществом такого рода биоморфных матриц является не только их технологическая простота, но и возможность предварительным деформированием древесной заготовки регулировать соотношения поперечных размеров капилляров и стенок, добиваясь оптимума для данного состава радиации.

На предыдущей конференции мы сообщали о генерации электрических потенциалов в ветвях и листьях живых деревьев при их освещении [3]. Это объясняется активным разделением положительных и отрицательных зарядов в тилакоидах листьев при фотосинтезе. Мы обнаружили, что освещение водной суспензии с растертыми зелеными листьями красным или синим лазером средней мощности (порядка 1 Вт/см^2) приводит к образованию анизотропных кристаллитов размерами от 30 до 300 микрон, отчетливо наблюдаемых в поляризационном микроскопе. Их появление объясняется

Потоки излучений идут справа. В правой части показано, как гамма-кванты выбивают из стенки электроны, часть которых переходит в воду, заряжая ее отрицательно и оставляя в стенке нескомпенсированный положительный заряд. Нейтроны же выбивают из воды протоны, часть которых переходит в

тем, что при поглощении света молекулами хлорофилла в тилакоидах образуются свободные электроны, транспортируемые специальными белками на наружные поверхности тилакоидных мембран. В итоге внутри тилакоидов накапливаются нескомпенсированные положительные заряды, и за счет их взаимного кулоновского отталкивания тилакоиды разрываются. Их мембраны превращаются при этом в пластинки, одна поверхность которых заряжена положительно, а противоположная – отрицательно. Эти пластинки за счет кулоновского притяжения противоположных сторон разных пластинок самоорганизуются в стопки, один торец которых заряжен отрицательно, а противоположный – положительно. Три эти стадии схематично показаны на рис. 3.

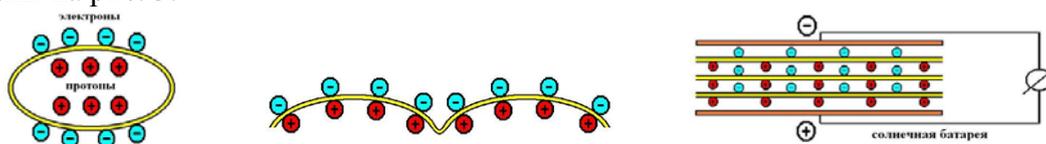


Рис. 3. Три стадии формирования электрически поляризованных анизотропных стопок мембран от разорвавшихся в результате лазерного облучения тилакоидов

На правой части рис. 3. схематично показано, как от электрически поляризованных стопок тилакоидных мембран, образовавшихся при освещении, получать электрический ток. Таким образом, созданы экспериментальные предпосылки формирования солнечных батарей на основе зеленой массы растений. Первая фаза – подготовка водной суспензии из зеленой массы, растертой до состояния отдельных хлоропластов и тилакоидов. Вторая фаза – облучение этой суспензии красным или синим лазером до образования в ней оптически анизотропных кристаллитов из разорванных тилакоидных мембран. Третья фаза – ориентировка и коагуляция этих кристаллитов внешним электрическим полем так, чтобы один торец образовавшегося агрегата стал положительным полюсом полученной солнечной батареи, а противоположный – отрицательным. Определение реальных эксплуатационных характеристик такого типа батарей (КПД, рабочий ресурс и т. д.) требует дополнительных экспериментов, но в любом случае понятны их явные преимущества, состоящие в абсолютной экологической чистоте и многократно сниженной себестоимости производства. Технология настолько проста, что можно рассматривать изготовление одноразовых солнечных батарей в домашних условиях из зеленой массы, собранной на дачном участке. Следует заметить, что она намного проще той технологии солнечных батарей из зеленой массы, которая описана в публикации группы Мершина из Массачусетского технологического института, где используются специальный вид водорослей и подложки из наночастиц, приготавливаемых сложным путем [4].

Толщины тилакоидных мембран, показанных на рис. 3, составляют всего несколько нанометров. Поэтому пластинки из таких мембран, содержащие на противоположных сторонах заряды разных знаков, имеют большую электрическую емкость, так как она обратно пропорциональна расстоянию между заряженными поверхностями. Это позволяет конструировать из подобных пластинок суперконденсаторы, где в малом объеме запасается большая электрическая энергия за счет высокой плотности разделенных электрических зарядов. Сочетание преобразователя ионизирующего или солнечного излучения с суперконденсатором в одном блоке представляет интерес для ситуации, когда источник и потребитель энергии сильно разделены в пространстве. Например, максимальная плотность солнечного излучения – на экваторе, а максимальный дефицит электроэнергии – в высоких широтах (к примеру, в Арктике). В таком случае при наличии дешевых сборок одноразовых солнечных батарей и

суперконденсаторов растительного происхождения заслуживает предварительного анализа версия морских судов с этими сборками, которые будут заряжаться от солнца у экватора и перевозиться судами на север. Это может оказаться дешевле, чем строить и поддерживать длинные линии электропередач или топливные коммуникации.

Наряду с такого рода полуфантастическими проектами использование устройств на базе градиентных карбидокремниевых матриц на основе древесины имеет реальные перспективы практических применений в электротехнике и конструировании аппаратов, работающих в высокотемпературных агрессивных средах. Нагревательные элементы высокотемпературных печей должны иметь низкоомные токоподводящие торцы и среднюю нагревательную зону с повышенным сопротивлением. В этом случае приходится сочетать торцы из металла с серединой из керамики. Стыки столь разнородных материалов приносят пониженные механическую и термическую прочности из-за разницы в коэффициентах термического расширения. Если же середину изготовить из биоморфной карбидокремниевой керамики на базе древесины, то ее торцы для стыков с металлическими тоководами можно усиленно металлизировать за счет увеличенной доли внутрикапиллярных полостей, а в середине организовать повышенный процент высокоомной керамики. Регулировку процентного содержания металла в случае биоморфной керамики на основе древесины легко осуществить неоднородным деформированием древесных заготовок [1]. Аналогичное применение градиентной биоморфной керамики возможно для установки плиток термохимической защиты металлических корпусов высокотемпературных химических реакторов: со стороны металла в плитках – повышенное содержание металла, со стороны агрессивной среды – повышенное содержание карбида кремния.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, проект № 37.8809.2017/БЧ «Исследование строения, свойств и характеристик древесины как природного функционального материала для разработки энергосберегающих и экологичных технологий продукции с заданными механическими, электрическими, химическими и тепловыми характеристиками» и частичной поддержке РФФИ, проект № 16-29-11702.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ершов А.Е., Классен Н.В.* Управление функциональными характеристиками биоморфных углеродных и карбидокремниевых материалов посредством предварительного прессования древесины // *Материаловедение*. 2014. № 9. С. 44–56.
2. *Лисицын В.М.* Радиационная физика твердого тела. Томск, 2008. 172 с.
3. *Классен Н.В., Гурин Ф.С., Кудинова А.А.* Роль фото- и пьезоэлектричества в жизнедеятельности растений: тр. конф. «Современные проблемы биологического и технического древесиноведения», Йошкар-Ола, сентябрь 2016. Стр. 72–74.
4. *Mershin A., Matsumoto K., Kaiser L., Yu D., Vaughn M., Nazeeruddin M.K., Bruce B.D., Graetzel M., Zhang S.* Self-assembled photosystem-I biophotovoltaics on nanostructured TiO₂ and ZnO // *Sci. Rep.* 2012/2. 234.

NEW APPLICATIONS OF WOOD MICROSTRUCTURES IN DEVICES AND INSTALLATIONS

S.A. VINOKUROV¹, A.E. ERSHOV¹, N.V. KLASSEN^{1, 2}, G.A. GORBACHEVA², V.P. GALKIN², V.G. SANAEV²

¹ Institute of Solid State Physics RAS, Chernogolovka, Russia (klassen@issp.ac.ru)

² Mytischki Branch of Bauman MSTU, Mytischki, Russia (gorbacheva-g@yandex.ru)

A set of particularities of microstructures and properties of plants is applied for development of several new devices and installations: direct transformers of ionizing radiation to electricity either for gammas or for neutrons, economic solar batteries from green components of plants using rather simple technologies as well as super-condensers, protective coating plates with gradient compositions for installations working in high temperature aggressive media based on wood.

ИЗУЧЕНИЕ БИОИНДИКАЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS*)

В.М. ВОРОНИН¹, С.В. СОБОЛЕВА²

¹ СибГУ науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнева, Красноярск, Россия
(vvmv@mail.ru)

² СибГУ науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнева, Красноярск, Россия
(swet.soboleva2011@yandex.ru)

В работе изучалась биоиндикационная способность сосны обыкновенной к накоплению тяжелых металлов своей биомассой. Химические элементы и их соединения, попадая на поверхность почв в ландшафтно-геохимические системы, претерпевают ряд превращений, рассеиваются или накапливаются в зависимости от характера геохимических барьеров, свойственных данной территории. Сведения о процессах накопления, миграции и содержании тяжелых металлов в растениях являются необходимыми для проведения биогеохимического районирования, учета продуктивности и сохранения плодородия почв [1]. В связи с этим назрела проблема оценки накопления тяжелых металлов с помощью доступных, недорогих и экологических методов анализа накопления в окружающей среде загрязнений с использованием в качестве биоиндикаторов древесных растений. Суть подхода состоит в определении загрязнения одних систем через другие, более доступные для измерения [2]. Биоиндикационные исследования преимущественно проводятся пассивными или активными способами. При первом из них анализируются изменения свободно произрастающих растений, во втором – применяются тест-камеры, в которых биоиндикаторы подвергают воздействию поллютантов заданного состава. Следует отметить, что растения более чувствительны, чем приборы, к присутствию в воздухе вредных поллютантов. Они реагируют на низкое содержание в атмосфере вредных веществ, недоступное для восприятия человеком. Высокая чувствительность растений к загрязнению свидетельствует об эффективности их применения для биоиндикации [3].

В качестве объекта исследования использовали ассимиляционный аппарат сосны обыкновенной. Отбор проб проводили в пределах долины реки Лалетина, правого притока реки Енисей в районе заповедника «Столбы», а в качестве фона использовали пробы, отобранные в районе д. Овсянка. Пробы отбирали в весенне-осенний период 2017 года с молодняка массива деревьев в количестве не менее 10 шт. на высоте 1,3 м от земли. Пробы анализировались на показатели средней арифметической длины хвоинок сосны обыкновенной, мм, влажность и зольность по общепринятым методикам [4, 5]. Золу исследовали на наличие тяжелых металлов спектрометрическим методом на приборе «Спектроскан». По интенсивностям аналитических линий и сравнению их с образцом определяли концентрацию тяжелых металлов в пробе [6]. Результаты исследований обрабатывали статистически с помощью пакета программ Microsoft Excel с достоверностью $P \leq 0,05$.

Атмосферные загрязнения вызывают в ассимиляционном аппарате различные

биохимические превращения, в том числе на уровне метаболизма, что ведет к изменению внутренней структуры клеток. При дальнейшем развитии процессов наряду с внутренними начинают проявляться и внешние отклонения. Они наблюдаются во всем растительном организме, но отчетливее – у его вегетативных органов; к ним относится и хвоя. У сосны обыкновенной хвоинки расположены по две в пучке, 4–6 см длиной и 1,5–2 мм толщиной, они серо- либо сизовато-зеленые и, как правило, слегка изогнутые, края мелкозубчатые [7]. В случае хвойных древесных растений достаточно выраженные изменения под влиянием поллютантов отмечаются в размере и цвете хвои, снижении охвоенности [8]. Наиболее информативны сведения об изменчивости хвои, позволяющие быстро, сравнительно надежно и без инструментария составить представление об экологическом положении в исследуемом районе. Эти данные представлены в табл. 1.

Также анализировали среднюю длину веток сосны за весенне-осенний период 2017 г. (табл. 2). Побеги у молодых деревьев зеленые, быстрорастущие. К концу первого лета они становятся серо-светло-коричневыми и к 15–20 годам замедляют прирост.

Таблица 1. Показатели средней арифметической длины хвои сосны обыкновенной, мм

| Время отбора | На входе в заповедник «Столбы» | В районе Первого столба | В районе Второго столба | Фоновое (д. Овсянка) |
|---------------|--------------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------|
| Весна 2017 г. | 47,0±0,1 | 61,2±0,5 | 64,0±0,4 | 63,0±0,2 |
| Осень 2017 г. | 47,2±0,2 | 59,0±0,3 | 66,0±0,3 | 62,0±0,4 |
| Среднее | 47,1±0,15 | 60,1±0,4 | 65,0±0,35 | 62,5±0,3 |

Таблица 2. Показатели средней длины веток сосны обыкновенной, мм

| Время отбора | На входе в заповедник «Столбы» | В районе Первого столба | В районе Второго столба | Фоновое (д. Овсянка) |
|---------------|--------------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------|
| Весна 2017 г. | 148,9±1,1 | 156,5±0,9 | 160,9±0,4 | 158,5±0,2 |
| Осень 2017 г. | 150,8±1,2 | 159,5±0,5 | 163,1±0,3 | 162,5±0,4 |
| Среднее | 149,4±1,15 | 157,0±0,7 | 161,5±0,35 | 150,0±0,3 |

Согласно представленным данным видно, что на фоновом участке состояние хвои сосны обыкновенной незначительно отличается от такового на исследуемых участках. Отклонение составляет 8 %, и это в основном относится к участкам на входе в заповедник «Столбы», приближенным к автомагистрали (50 м). В фоновых древостоях вследствие взаимного затенения хвои, из-за сокращения ее количества к верхушечному побегу и повышения освещенности морфометрические и гравиметрические показатели возрастают от нижней к верхней части кроны [11]. При интенсивном загрязнении воздушной среды такая зависимость практически не отмечается. Показатели средней длины веток сосны обыкновенной варьируются в пределах от 148,9 до 157 мм и практически одинаковы на всех участках. Наибольший прирост наблюдается на фоновом участке и в районе Второго столба. Оценка качества среды по биологическим ответам более объективна, чем сопоставление концентрации отдельных загрязнителей с нормативами, поскольку при этом учитывается влияние всех веществ, включая неидентифицированные соединения, и их сочетанное действие. Находясь в загрязненной среде, растения адаптируются к условиям существования, что выражается в приспособлении структуры и функций их организма; процесс происходит путем изменения интенсивности обмена веществ, в первую очередь в ассимиляционном аппарате [2].

По мере увеличения техногенной нагрузки (запыленность и загазованность воздуха) влажность хвой исследуемых участков (табл. 3) незначительно уменьшается, это связано с закупоркой устьиц хвоинок и уменьшением процесса газообмена с атмосферой. Полученные данные совпадают с результатами других авторов, что свидетельствует о зависимости между содержанием воды в хвое и загрязнением среды и позволяет рассматривать влажность как индикатор экологической нагрузки на территорию [9, 10].

Таблица 3. Влажность хвой сосны обыкновенной, %

| Время отбора | На входе в заповедник «Столбы» | В районе Первого столба | В районе Второго столба | Фоновое (д. Овсянка) |
|---------------|--------------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------|
| Весна 2017 г. | 45,0±0,3 | 46,5±0,7 | 48,0±0,8 | 47,9±0,1 |
| Осень 2017 г. | 46,1±0,4 | 47,2±0,5 | 49,5±0,4 | 50,2±0,2 |
| Среднее | 45,55±0,35 | 46,85±0,6 | 49,0±0,6 | 49,05±0,15 |

Одним из ключевых факторов, характеризующих экологическую напряженность местности, является содержание тяжелых металлов в экосистеме, в том числе в живых организмах и растениях. Общеизвестно, что минеральные вещества активно участвуют во многих обменных процессах, в связи с этим изменение их состава сказывается на росте и развитии растений, что отражается на состоянии ассимиляционного аппарата [2]. Загрязнение воздушной среды, которое заключается в привнесении несвойственных ей минеральных компонентов, ухудшает функционирование и устойчивость насаждений. При проведении данной серии опытов образцы суммарной хвой отбирали на всех исследуемых участках. Зольность проб и вклад неорганических соединений в биомассу хвой представлен в табл. 4.

Таблица 4. Зольность хвой сосны обыкновенной, %

| Время отбора | На входе в заповедник «Столбы» | В районе Первого столба | В районе Второго столба | Фоновое (д. Овсянка) |
|---------------|--------------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------|
| Весна 2017 г. | 2,95±0,04 | 2,73±0,03 | 2,75±0,08 | 2,65±0,01 |
| Осень 2017 г. | 2,81±0,05 | 2,75±0,02 | 2,79±0,04 | 2,75±0,02 |
| Среднее | 2,88±0,045 | 2,74±0,02 | 2,77±0,06 | 2,70±0,02 |

По данным табл. 4, наблюдается изменение динамики содержания золы в сторону уменьшения при удалении от автомагистрали к лесным районам. Оно составляет 0,3 % в весенний период и 0,06 % осенью.

Согласно представленным данным, хвоя сосны сибирской аккумулирует своей биомассой некоторое количество тяжелых металлов, поступающих с атмосферными выбросами от антропогенных источников, в том числе автотранспорта и промышленных предприятий. По мере удаления от источников выбросов количество тяжелых металлов в хвое постепенно снижается и достигает минимума в районе д. Овсянка. По сравнению с загрязненным участком количество металлов в хвое уменьшается (весной и осенью соответственно): железа на 14% и 27 %; цинка на 46 % и 45 %; меди на 66 % и 87%; марганца на 96 % и 92 %; никель присутствует в следовом количестве на всех исследуемых участках.

Необходимо отметить, что предложенный метод оценки территории биоиндикацией с использованием сосны обыкновенной очень прост в использовании и не требует дорогостоящего оборудования, его можно осуществлять в полевых условиях при отсутствии сложных приборов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Золотарева Б.Н. Распределение и трансформация соединений тяжелых металлов Cu, Zn, Ni, Pb, Cl в экосистемах: автореф. дисс. ... д-ра физ.-мат. наук: 03.00.16.М.: Институт почвоведения и фотосинтеза, 1994. 54 с.
2. Оценка загрязнения атмосферы биоиндикационными методами / Р.А. Степень, О.А.Есякова, С.В.Соболева. Красноярск: СибГТУ, 2013. 142 с.
3. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области / В.Б. Ильин, А.И. Сысо. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 229 с.
4. Методы фитоконтроля загрязнения окружающей среды / С.А. Сергейчик. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 168 с.
5. Основы научных исследований. В 3 ч. Ч.2. Контроль качества и экстрагирование растительного сырья: учеб. пособие / В.М. Ушанова, О.И. Лебедева, А.Н. Девятловская. Красноярск: СибГТУ, 2004. 168 с.
6. Методика выполнения измерений массовой концентрации тяжелых металлов в биологических объектах на рентгено-флуоресцентном спектрометре «Спектроскан». СПб.: ГП ВНИИФТРИ, 1994. 102 с.
7. Петункина Л.О., Ковригина Л.Н., Тарасова Л.П. Сосна обыкновенная как средство мониторинга состояния среды // Проблемы сохранения биологического разнообразия Южной Сибири. Кемерово, 1997. С.234–235.
8. Физиология сосны обыкновенной/ Н.Е. Судачкова, Г.И. Гирс, С.Г. Прокушкин и др. Новосибирск: Наука, 1990.248 с.
9. Соболева С.В., Почекутов И.С., Ченцова Л.И. Исследование морфофизиологических показателей насаждений сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) в разных экологических условиях // Вестник КрасГАУ. 2018. 1. С.199–205.
- 10.Соболева С.В., Почекутов И.С. Накопление тяжелых металлов в экосистеме отдельных районов заповедника «Столбы» //Иновационная наука. 2016. № 12–4. С. 84–87.
- 11.Gleizes M. Effects of light on terpene hydrocarbons synthesis in *Pinus pinaster* / M. Gleizes, J. Pauly, C. Bernard-Dagan // *Physiol. plant.* 1980. Vol. 50. № 1. P. 937–947.

THE STUDY OF ABILITY OF SCOTS PINE (*PINUS SYLVESTRIS*)

V.M. VORONIN¹, S.V. SOBOLEVA²

¹ Reshetnev Siberian state University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia (vvmv@mail.ru)

² Reshetnev Siberian state University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia (swet.soboleva2011@yandex.ru)

This paper studied the ability of Scots pine (*Pinus sylvestris*) to the accumulation of heavy metals in its biomass. The object of the study was the assimilation apparatus of Scots pine. Samples were taken in the spring-autumn period of 2017 from young growth of pine trees. It was found that as far away from the sources of emissions the amount of heavy metals in the coniferous gradually decreases and reaches a minimum in the area of Ovsyanka village. The method of assessing the territory by bioindication using pine is very easy to use and does not require expensive equipment, it can be carried out in the field in the absence of complex devices.

ЭФФЕКТ ПАМЯТИ ФОРМЫ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

С.А. ГОРБАЧЕВ¹, А.В. ШАКУРОВ¹, Г.А. ГОРБАЧЕВА², В.Г. САНАЕВ²

¹ Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия (gorbachev96@yandex.ru, shakurov@bmstu.ru)

² Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Мытищи, Россия (gorbacheva@mgul.ac.ru, rector@mgul.ac.ru)

К современным материалам предъявляются требования многофункциональности, то есть сочетания в одном и том же материале высоких физических, механических и химических свойств. Древесина является природным многофункциональным материалом, обладающим высокой прочностью при малой плотности, проявляющим эффект памяти формы. Стандартные материаловедческие принципы направленного изменения структуры и свойств этого уникального природного композита основаны на термических и деформационных воздействиях. Вместе с тем экстремальные воздействия на древесину могут привести к созданию принципиально новых структурных состояний. Эффект памяти формы (ЭПФ) встречается у довольно широкого круга материалов: металлов, керамики, полимеров, гелей. Впервые данный эффект в сплавах металлов обнаружили Г.В. Курдюмов и Л.Г. Хандрос в 1949 г. [7]. Было показано, что при охлаждении кристаллы мартенсита увеличивались, а при нагревании уменьшались. Такой эффект в металлах называется термоупругим мартенситным превращением. Эффект памяти в сплавах металлов имеет различные проявления, среди которых обратимая, однократная, многоформовая, реверсивная память формы [1]. В работе А.М. Глезер [2] показано, что одновременное воздействие криогенных температур и механических факторов способно стимулировать мартенситное превращение и привести к созданию уникальной структуры с улучшенными прочностными свойствами. В древесине Б.Н. Уголевым и Э.Б. Щедриной был экспериментально обнаружен эффект «памяти» древесины на температуру, при которой проводилось силовое воздействие [8, 14]. Этот эффект обусловлен перерождением части упруго-эластических деформаций в остаточные и образованием квазиостаточных «замороженных» деформаций. Их величину определяют как разницу упруго-эластических деформаций в начальном и конечном физических состояниях, они исчезают при нагревании или увлажнении. Характеризация эффекта памяти формы (ЭПФ) древесины [3–6, 9–11, 13] позволила детально исследовать деформационные превращения, экспериментально определить показатели ЭПФ, изменения в структуре древесины. Вместе с тем исследования данного феномена при низких температурах ранее не проводились.

Для количественной оценки ЭПФ при низких температурах были использованы показатели ЭПФ (R_r , R_f) на основе модели термо- и гигромеханических деформаций древесины [3, 10, 12, 14]. Эксперименты были выполнены на образцах строганого и лущеного шпона из древесины бука (*Fagus L.*), березы (*Betula L.*), сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris L.*) при влажности выше предела насыщения клеточных стенок для исключения влияния усушки и разбухания на величину показателей ЭПФ. Размеры образцов: $L*b*h = 250*15*0,6$ мм. Процедура испытаний включала нагружение образца при $W_n > 30$ %, $t=100$ °С, выдержку в течение 10 мин. (определяется величина термомеханической деформации ϵ_{evp}), охлаждение до $t=-71$ °С в низкотемпературном морозильнике под нагрузкой (величина ϵ_{evp} сохраняется постоянной из-за образования замороженных деформаций), разгрузку образца (определяется величина упруго-эластической деформации охлажденной древесины ϵ_{ev2}), выдержку 10 мин. (определяется величина сет-деформаций ϵ_s), нагрев до

начальной температуры $t=100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (определяется величина замороженной деформации ε_f и пластической деформации ε_p , показатели R_r и R_f). Подобная процедура была проведена при начальной температуре $t=25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Сравнительный анализ результатов проведенных экспериментов в разных температурных диапазонах представлен в табл. 1.

Таблица 1. Показатели ЭПФ древесных пород в температурных интервалах от 100 до $-71\text{ }^{\circ}\text{C}$

| Древесная порода, вид шпона | Показатель | Температурный диапазон, ΔT , $^{\circ}\text{C}$ | | |
|---|-----------------|--|--|--|
| | | 100 \rightarrow -71 $^{\circ}\text{C}$, $\Delta T=171\text{ }^{\circ}\text{C}$ | 25 \rightarrow -71 $^{\circ}\text{C}$, $\Delta T=96\text{ }^{\circ}\text{C}$ | 100 \rightarrow 2 $^{\circ}\text{C}$, $\Delta T=98\text{ }^{\circ}\text{C}$ [10, 13] |
| Сосна обыкновенная (<i>Pinus sylvestris</i> L.), строганный | ε_p | 0,27 | 0,14 | 0,075 |
| | ε_f | 0,53 | 0,43 | 0,50 |
| | R_r | 0,73 | 0,86 | 0,92 |
| | R_f | 0,80 | 0,57 | 0,58 |
| Бук (<i>Fagus</i> L.), строганный | ε_p | 0,18 | 0,21 | 0,03 |
| | ε_f | 0,54 | 0,50 | 0,48 |
| | R_r | 0,82 | 0,79 | 0,97 |
| | R_f | 0,72 | 0,71 | 0,50 |
| Береза (<i>Betula</i> L.), лущеный | ε_p | 0,05 | 0,08 | - |
| | ε_f | 0,74 | 0,58 | - |
| | R_r | 0,95 | 0,92 | - |
| | R_f | 0,79 | 0,66 | - |

Как следует из табл. 1, доля обратимых деформаций R_r , отражающая способность материала запоминать постоянную форму, для исследованных образцов находилась в пределах от 0,72 до 0,95, максимальные значения характерны для древесины березы, что объясняется низкими значениями доли пластических деформаций ε_p (0,05–0,08) и особенностями технологии изготовления лущеного шпона. Величина доли замороженных деформаций ε_f , являющихся носителями ЭПФ, составила 0,43–0,74. Доля фиксированных (сет) деформаций R_f , которая отражает способность запоминать временную форму, составила от 0,57 до 0,80. Отмечено увеличение доли замороженных деформаций при увеличении диапазона температур. Доля пластических деформаций в низкотемпературном диапазоне значительно больше, чем в ранее проведенных опытах [4, 10, 11, 13], поскольку испытания проводились в насыщенном состоянии и при наличии свободной воды в полостях клеток. В данном случае возможны повреждения анатомических элементов, состоящих из паренхимных клеток (сердцевинных лучей, осевой паренхимы, смоляных ходов).

Таким образом, экспериментально получены показатели ЭПФ древесины при низких температурах, подтверждена справедливость основных положений модели гигро- и термомеханических деформаций древесины в низкотемпературном диапазоне. Поскольку образование и исчезновение замороженных деформаций, являющихся носителями эффекта памяти, обусловлено изменениями в системе межмолекулярных взаимодействий (в том числе в сетке водородных связей), необходимы дальнейшие исследования влияния деформационных превращений на характер межмолекулярного взаимодействия и межцепную организацию полимеров древесины.

Исследования выполнены в лабораториях Центра коллективного пользования научным оборудованием «Центр физико-механических испытаний древесины» (ЦКП ЦФМИД) Мытищинского филиала и НОЦ «Криология» ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана» (национальный исследовательский университет)». Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, проект № 37.8809.2017/БЧ «Исследование строения, свойств и характеристик

древесины как природного функционального материала для разработки энергосберегающих и экологических технологий продукции с заданными механическими, электрическими, химическими и тепловыми характеристиками».

ЛИТЕРАТУРА

1. *Андронов И.Н.* Механическое поведение материалов при сложных температурно-силовых воздействиях в условиях проявления мартенситной неупругости: автореф. дисс. ... докт. техн. наук: 05.16.01. Москва: Моск. гос. ин-т электроники и математики, 1999. 40 с.
2. *Глезер А.М.* Принципы создания многофункциональных конструкционных материалов нового поколения // Успехи физических наук. 2012. Т. 182. № 5. С. 559–566.
3. *Горбачева Г.А., Белковский С.Ю., Лапшин Ю.Г.* Способ визуализации и квантификации эффекта памяти формы древесины и древесных материалов. Патент на изобретение № 2627852, РФ, С2, МПК G01N 33/46 (2006.01). Оpubл.: 14.08.2017. Бюл. № 23. 7 с.
4. *Горбачева Г.А., Санаев В.Г., Белковский С.Ю.* Возможности регулирования показателей эффекта памяти формы древесины: Сб. трудов I Междунар. науч.-практ. конференции «Современные проблемы биологического и технического лесоведения». Йошкар-Ола: Изд-во ПГТУ, 2016. С. 46–50.
5. *Горбачева Г.А., Санаев В.Г., Белковский С.Ю.* Характеризация удельной поверхности древесины при эффекте памяти формы // Лесотехнический журнал. 2016. Т. 6. № 3 (23). С. 79–83.
6. *Горбачева Г.А., Уголев Б.Н., Санаев В.Г., Белковский С.Ю.* Характеризация эффекта памяти формы древесины бука методом термомеханической спектроскопии // Лесной вестник. Forestry Bulletin. 2016. Т. 20. № 4. С. 10–14.
7. *Курдюмов Г.В., Хандрос Л.Г.* О термоупругом равновесии при мартенситных превращениях // ДАН СССР. 1949. Т. 66. № 2. С. 211–215.
8. *Уголев Б.Н.* Метод исследования реологических свойств древесины при переменной влажности // Заводская лаборатория. 1961. 27 (2). С. 199–203.
9. *Уголев Б.Н., Горбачева Г.А., Белковский С.Ю.* Многоформный эффект памяти древесины // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2014. № 2 (101). С. 66–70.
10. *Уголев Б.Н., Горбачева Г.А., Белковский С.Ю.* Экспериментальное исследование показателей эффекта памяти древесины // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2014. № 2 (101). С. 62–65.
11. *Gorbacheva G.A., Ugolev B.N., Sanaev V.G., Belkovskiy S.Y., Gorbachev S.A.* Methods of characterization of memory effect of wood // Pro Ligno. 2015. 11 (4): 65–72.
12. *Lendlein A., Kelch S.* Shape-Memory Polymers. Reviews // Angew. Chem. Int. Ed. 2002. 41: 2034–2057.
13. *Ugolev B., Gorbacheva G., Belkovskiy S.* Quantification of wood memory effect // Proc. 2012 IAWA «Wood the Best Material for Mankind» and the 5th International Symposium on the «Interaction of Wood with Various Forms of Energy», Zvolen, Slovakia, 2012. Pp. 31–37.
14. *Ugolev B.N.* Wood as a natural smart material // Wood Science and Technology. Journal of the International Academy of Wood Science. 2014. 48 (3): 553–568.

THE SHAPE MEMORY EFFECT OF WOOD AT LOW TEMPERATURES

S.A. GORBACHEV¹, A.V. SHAKUROV¹, G.A. GORBACHEVA², V.G. SANAEV²

¹ Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia (gorbachev96@yandex.ru, shakurov@bmstu.ru)

² Mytishchi branch of MSTU named after N.E. Bauman, Mytishchi, Russia (gorbacheva@mgul.ac.ru, rector@mgul.ac.ru)

Requirements of multifunctionality, i.e. combination in the material of high physical, mechanical and chemical properties are imposed to modern materials. Wood is the natural multifunctional material with high mechanical properties at the low density, possesses the shape memory effect. Extreme

impacts on wood can lead to creation of essentially new structural states. The results of the research of the shape memory effect of wood at low temperatures are presented. The deformative conversions, quantities of wood shape memory effect (R_r and R_f) for specimens of sliced and rotary-cut veneer of pine, beech and birch in temperature intervals from 100 to -71 °C were experimentally investigated. The increase of the ratio of the frozen strains at increase of range of temperatures and the growth of the ratio of plastic strains in low-temperature range were observed.

ТРАНСФОРМАЦИЯ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ДРЕВЕСИНЫ ЛИСТВЕННЫХ ПОРОД ПРИ ЭФФЕКТЕ ПАМЯТИ ФОРМЫ

Г.А. ГОРБАЧЕВА, С.Ю. БЕЛКОВСКИЙ

Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Мытищи, Россия (gorbacheva@mgul.ac.ru, belkovskiy@ro.ru)

Исследования топологической структуры древесины являются частью широкой фундаментальной научной базы для создания новых композитных материалов на основе возобновляемых ресурсов. Древесина, представляющая собой комплекс биополимеров, относится к умным материалам, одним из главных признаков которых является эффект памяти формы (ЭПФ). Эффект памяти древесины основан на квази-остаточных замороженных деформациях [6, 16, 17]. Для расширения возможностей применения в технологических процессах и изучения возможностей регулирования ЭПФ был реализован комплексный подход, выполнена характеристика данного феномена, включающая в том числе исследования изменений в структуре древесины [1–3, 6–8, 10, 11]. В древесине как природном композите, обладающем ЭПФ, архитектура полимерных сеток формирует основу данного эффекта; сетки ковалентных или физических связей инициируют переключение в материале при переходе от временной формы к постоянной [9, 10, 13, 15]. Представление о физической сетке, образованной за счет лабильных межмолекулярных связей различной природы, лежит в основе описания процессов деформирования полимеров [4]. Межмолекулярные взаимодействия моделируют физическими узлами – образованиями, подобными химическим сшивкам, обладающими столь низкой энергией разрушения, что они могут разрушаться и вновь образовываться в результате теплового движения; средняя концентрация таких узлов может изменяться при деформировании образцов. Особое внимание обращают на природу узла (микроструктура, иное микрофазовое образование, кластер из участков цепей и т. п.), его функциональность, термодинамические и кинетические закономерности формирования узлов физической сетки. Метод термомеханической спектроскопии (ТМС), разработанный в Институте химической физики РАН [5, 14], использовался для исследования изменения молекулярно-топологического строения древесины при различных состояниях ЭПФ. Экспериментальные исследования были выполнены для древесины бука лесного (*Fagus sylvatica* L.) и дуба черешчатого (*Quercus robur* L.), которые обладают высокими физико-механическими свойствами, широко используются в различных отраслях деревоперерабатывающей промышленности. Молекулярно-топологическое строение древесины исследовано для образцов постоянной, временной и восстановленной форм размерами $250 \times 15 \times 0,6$ мм в соответствии с ранее разработанной методикой [1, 11]. Образование и исчезновение замороженных деформаций, являющихся носителями эффекта памяти, обусловлено изменениями в системе межмолекулярных взаимодействий (в том числе в сетке водородных связей) [6, 10, 11]. При образовании

временной и восстановлении исходной форм наблюдается существенная трансформация топологической структуры древесины бука и дуба.

Сравнительный анализ изменений в топологической структуре древесины бука и дуба при ЭПФ представлен на рис. 1.

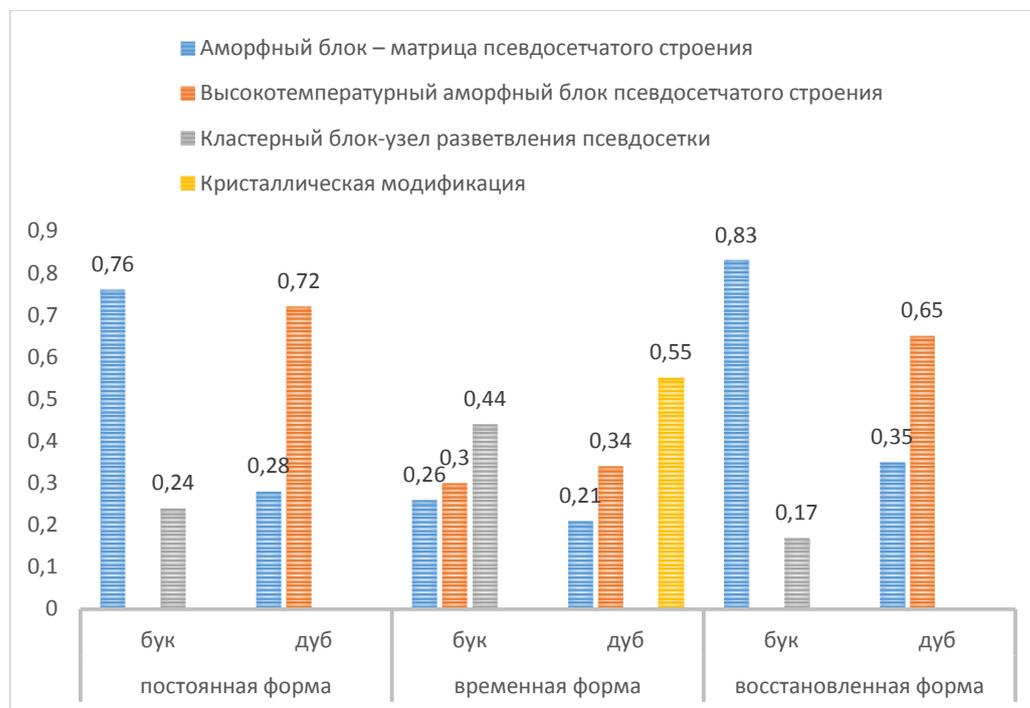


Рис. 1. Трансформация топологической структуры древесины бука и дуба при ЭПФ

Исходная древесина бука имеет топологически диблочную аморфно-кластерную структуру псевдосетчатого строения. В результате изгиба и последующей сушки образец принимает временную форму, образуются замороженные деформации. При этом происходит существенная трансформация топологической структуры, она становится триблочной. В древесине бука появляется высокотемпературный аморфный блок псевдосетчатого строения с температурой стеклования $T_g = 19\text{ }^\circ\text{C}$ (средневесовая $M'_{sw} = 4640$ и среднечисловая $M'_{sp} = 2790$ – молекулярные массы в блоке, коэффициент полидисперсности $K = 1,66$). В древесине бука в аморфном блоке значительно снижаются молекулярные массы, что может свидетельствовать о разрушении трехмерных сеток, образуемых лигнином и гемицеллюлозами. В древесине бука в кластерном блоке повышается температура начала сегментальной релаксации в кластере, почти в два раза увеличивается молекулярная масса закластеризованных цепей и увеличивается доля блока. Переход при $19\text{ }^\circ\text{C}$, установленный методом ТМС для древесины бука, можно объяснить колебаниями освободившихся ОН-групп после разрыва слабых Н-связей в компонентах древесины [12].

Термомеханическая кривая исходной древесины дуба топологически диблочна с двумя аморфными блоками псевдосетчатого строения, свободный объем в высокотемпературном блоке сохраняется неизменным вплоть до температуры начала разложения древесины. В топологической структуре древесины дуба при образовании замороженных деформаций происходит значительная трансформация, она становится триблочной, аморфно-кристаллического строения и псевдосетчатого строения. Появление кристаллической модификации приводит к значительному уменьшению доли высокотемпературного аморфного блока псевдосетчатого строения.

При возвращении начальных физических условий наблюдается восстановление постоянной формы и топологически дробной структуры древесины дуба и бука. Топологическая структура древесины дуба в состоянии восстановленной формы аналогична ее исходному состоянию и свидетельствует о практически полной ее структурной обратимости, хотя и с несколько различающимися молекулярно-релаксационными характеристиками, что обусловлено наличием необратимых пластических деформаций. При этом в древесине дуба и бука увеличиваются доли низкотемпературного аморфного блока псевдосетчатого строения, уменьшаются доли более высокоупорядоченных блоков.

Таким образом, наблюдаемое изменение формы при ЭПФ обусловлено обратимой трансформацией топологической структуры древесины. Образование новых межмолекулярных взаимодействий вследствие одновременного действия нагрузки и снижения влажности приводит к появлению более упорядоченных структур и блоков, которые могут легко разрушаться при снятии нагрузки и возвращении к исходным физическим условиям.

Авторы выражают благодарность к. х. н. Ю.А. Ольхову за помощь в получении данных по термомеханической спектроскопии древесины дуба и бука. Исследования выполнены в лаборатории Центра коллективного пользования научным оборудованием «Центр физико-механических испытаний древесины» (ЦКП ЦФМИД) Мытищинского филиала ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана» (национальный исследовательский университет)». Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, проект № 37.8809.2017/БЧ «Исследование строения, свойств и характеристик древесины как природного функционального материала для разработки энергосберегающих и экологических технологий продукции с заданными механическими, электрическими, химическими и тепловыми характеристиками».

ЛИТЕРАТУРА

1. Горбачева Г.А., Белковский С.Ю., Лапшин Ю.Г. Способ визуализации и квантификации эффекта памяти формы древесины и древесных материалов. Пат. на изобретение № 2627852, РФ, С2, МПК G01N 33/46 (2006.01), заявл. 2015144145, 15.10.2015. Оpubл.: 14.08.2017. Бюл. № 23.
2. Горбачева Г.А., Санаев В.Г., Белковский С.Ю. Возможности регулирования показателей эффекта памяти формы древесины: Сб. трудов I Междунар. науч.-практ. конференции «Современные проблемы биологического и технического лесоведения». Йошкар-Ола: Изд-во ПГТУ, 2016. С. 46–50.
3. Горбачева Г.А., Санаев В.Г., Белковский С.Ю. Характеризация удельной поверхности древесины при эффекте памяти формы // Лесотехнический журнал. 2016. Т. 6. № 3 (23). С. 79–83.
4. Иржак В.И., Королев Г.В., Соловьев М.Е. Межмолекулярное взаимодействие в полимерах и модель физической сетки // Успехи химии. 1997. Т. 66. Вып. 2. С. 179–200.
5. Ольхов Ю.А., Иржак В.И., Батулин С.М. Способ определения молекулярно-массового распределения полимеров. Пат. 1763952 РФ, МПК G01N21/00. Заявитель и патентообладатель Отделение института хим. физики АН СССР. № 4767397/05; заявл. 27.10.89. Оpubл.: 23.09.1992. Бюл. № 35.
6. Уголев Б.Н., Галкин В.П., Горбачева Г.А., Аксенов П.А., Баженов А.В. Изменение наноструктуры древесины при влагозадержанных деформациях // Сб. науч. трудов МГУЛ, вып. 338 «Технология и оборудование для переработки древесины». М.: ФГБОУ ВПО МГУЛ, 2007. С. 9–16.
7. Уголев Б.Н., Горбачева Г.А., Белковский С.Ю. Многоформный эффект памяти древесины // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2014. № 2 (101). С. 66–70.
8. Уголев Б.Н., Горбачева Г.А., Белковский С.Ю. Экспериментальное исследование показателей

- эффекта памяти древесины // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2014. № 2 (101). С. 62-65.
9. Эриньи П.П. Строение и свойства древесины как многокомпонентной полимерной системы // Химия древесины. 1977. №1. С. 8–25.
 10. Gorbacheva G.A., Ugolev B.N., Sanaev V.G., Belkovskiy S.Y., Gorbachev S.A. Methods of characterization of memory effect of wood // *Pro Ligno*. 2015. 11 (4): 65–72.
 11. Gorbacheva G.A., Olkhov Y.A., Ugolev, B.N., Belkovskiy S.Y. Research of Molecular-Topological Structure at Shape-Memory Effect of Wood/ / Proc. of the 57th Int. Convention of SWST «Sustainable Resources and Technology for Forest Products», Zvolen, Slovakia, 2014. Pp. 187–195.
 12. Goring D.A. Thermal softening of lignin, hemicellulose and cellulose // *Pulp and Paper Mag. Canada*, 1963. 64 (12): 517–527.
 13. Lendlein A., Kelch S. Shape-Memory Polymers. Reviews // *Angew. Chem. Int. Ed.* 2002. 41: 2034–2057.
 14. Olkhov Y.A., Jurkowski B. On the more informative version of thermomechanical analysis at compression mode // *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2005. 81 (3): 489–500.
 15. Sisson A.L., Lendlein A. Advances in actively moving polymers // *Macromol. Mater. Eng.* 2012. 297: 1135–1137.
 16. Ugolev B., Gorbacheva G., Belkovskiy S. Quantification of wood memory effect // Proc. 2012 IAWS «Wood the Best Material for Mankind» and the 5th International Symposium on the «Interaction of Wood with Various Forms of Energy», Zvolen, Slovakia, 2012. Pp. 31–37.
 17. Ugolev B.N. Wood as a natural smart material // *Wood Science and Technology*. 2014. 48 (3): 553–568.

TRANSFORMATION OF THE TOPOLOGICAL STRUCTURE OF HARDWOOD AT SHAPE MEMORY EFFECT

G.A. GORBACHEVA, S.Y. BELKOVSKIY

Mytishchi branch of MSTU named after N.E. Bauman, Mytishchi, Russia (gorbacheva@mgul.ac.ru, belkovskiy@ro.ru)

Research into the topological structure of wood is a part of a broad fundamental scientific base for the creation of new composite materials based on renewable resources. Wood as a complex of natural biopolymers belongs to smart materials and possesses the effect of shape memory (SME). The architecture of polymer networks forms the basis of this effect, the networks of covalent or physical bonds initiate switching in the material during the transition from the temporary to the permanent shape. The method of thermomechanical spectrometry (TMS) developed at the Institute of chemical physics of the RAS was used to study changes of the molecular topological structure of wood at SME. The observed shape changes at SME are due to the reversible transformation of the topological structure of the wood. The analysis of changes of the structure of hardwoods (beech and oak) at SME is performed.

ПРОДУКТЫ БИОКОНВЕРСИИ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ ХВОЙНЫХ В БИОРЕМЕДИАЦИИ ДЕГРАДИРОВАННЫХ ПОЧВ

И.Д. ГРОДНИЦКАЯ, Н.В. ПАШЕНОВА, О.Э. КОНДАКОВА

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (igrod@ksc.krasn.ru)

В настоящее время в лесной зоне России продолжается накопление отходов лесопромышленного комплекса, что отрицательно сказывается на экологической обстановке в этих районах страны. Идея микробиологической биотрансформации древесных отходов с последующим использованием их в качестве биоудобрения уже получила развитие в ряде работ [4, 5]. Предлагаемые методы основаны на биодеградации древесных отходов аборигенными культурами почвенных микроорганизмов (бактерий и микромицетов). Однако базидиальные грибы-ксилотрофы являются наиболее мощными деструкторами древесины в природе.

В рамках работ по биоремедиации почв ведутся исследования возможности производства почвенных удобрений путем биоконверсии древесных отходов. В основе экобиотехнологического направления проекта лежит производство удобрений путем биоконверсии отходов деревообработки базидиальными грибами-ксилотрофами с последующим получением микопродуктов. Микопродукты нарабатываются в лабораторных условиях при твердофазном культивировании дереворазрушающих грибов на хвойных опилках. Показано, что в микопродуктах происходит частичная деградация лигноцеллюлозного комплекса, увеличивается количество экстрактивных веществ, снижается уровень лигнина [6]. В ходе твердофазного культивирования дереворазрушающих грибов на измельченной древесине биодеструкция растительных клеточных стенок приводит к возникновению разветвленной сети микропустот, высвобождению функциональных групп и радикалов в результате разрыва химических связей в полисахаридных и лигниновом компонентах. В свою очередь, разрушаемая древесина обогащается грибным мицелием, иммобилизованным естественным образом на субстрате [4, 8]. Как свидетельствует анализ литературы, оба компонента системы по отдельности рассматриваются как перспективные сорбенты тяжелых металлов, нефти, органических загрязнителей-ксенобиотиков [3]. Сочетание биологической деструкции и обогащения грибной биомассой позволяет ожидать увеличения сорбирующей активности продуктов биоконверсии и (или) проявления у них качественно новых свойств. Еще одним перспективным направлением является внесение микопродуктов в посевы (лесных и сельскохозяйственных растений) в качестве органического субстрата для почвенных микроорганизмов, где в условиях искусственного выращивания монокультуры изымается травянистая растительность, что лишает агропочвы органики, а микроорганизмы – питательных ресурсов. Однако их включение в экосистему вызывает азотное голодание растений, хотя при этом наличие в массе опилок целлюлозно-лигнинного комплекса может способствовать обогащению почвы гумусом и оструктуриванию [7].

В настоящее время вместо дорогостоящих минеральных удобрений используются микробно-ферментные биотехнологии, позволяющие вносить в почвы древесные отходы (опилки, кору) без предварительной обработки, для восстановления истощенных/деградированных почв (биоремедиации), повышения почвенного производительного потенциала и стимулирования процессов лесовозобновления.

Целью исследований являлась оценка влияния микопродукта, полученного путем биоконверсии сосновых опилок, на биогенные свойства почвы, функционирование почвенного микробиоценоза, пролонгирование активности микробов-антагонистов и качество посадочного материала хвойных.

Микопродукт (МП) получали путем твердофазного культивирования мицелия дереворазрушающего базидиального гриба *Trametes versicolor* (штамм В18/91) на увлажненных сосновых опилках в течение 2,5 месяца при 20–24 °С, затем мицелиально-опилочную массу измельчали и высушивали. Полученный МП отличался от исходного материала (опилок). Количество экстрактивных веществ в микопродукте превышало таковое в опилках в 2 раза, в то время как содержание труднорастворимых веществ – лигнина и целлюлозы – снижено на 12–13 % [6].

Результаты полевых экспериментов показали, что внесение в темно-серую почву лесных участков (ОЭП «Погорельский бор») микопродукта (МП) и опилок (ОП) приводило к увеличению влагосодержания в поверхностном слое почвы, накоплению микробной биомассы в 1,5–2 раза (с МП), росту ферментативной активности и активизации процессов минерализации органического вещества в течение всего вегетационного периода. Целлюлазная и протеазная активность почвы в варианте МП превышала контроль в 3–3,5 раза, а по сравнению с вариантом ОП – в 2–2,5 раза. Кроме того, разложение микопродукта почвенными микроорганизмами сопровождалось снижением кислотности почвы: рН смещалась от слабокислых значений к слабощелочным (от 6,4 до 7,5–7,8).

Для улучшения фитосанитарного состояния почвы (снижения численности фитопатогенов) и защиты сеянцев хвойных от заболеваний в почву лесных питомников вместо химических препаратов вносят микробные агенты (биопестициды), обладающие высокой биологической (антагонистической) активностью [2].

Поскольку активность интродуцированных антагонистов непродолжительна из-за их элиминирования почвенным микробным сообществом, проведены натурные исследования по влиянию древесных поддерживающих субстратов (опилок и микопродукта) на сохранность и пролонгирование активности внесенных микробов-антагонистов. С этой целью в серую лесную почву экспериментальных участков сосняка разнотравного Погорельского бора вносили водную суспензию конидий грибов *Trichoderma harzianum* (10^9 спор/мл) вместе с сосновыми опилками и микопродуктом и исследовали сезонную сохранность интродуцента. Популяция микромицета в течение трех месяцев наблюдений продемонстрировала высокую сохранность в почвенном сообществе. Численность триходермы (КОЕ) уменьшалась в разы, но не на порядки. Наилучшее сохранение численности *Trichoderma harzianum* (на уровне 3×10^6 и более КОЕ/г почвы) в течение всего вегетационного сезона отмечали в варианте «микопродукт+триходерма» (табл. 1).

Таблица 1. Сохранность *Trichoderma harzianum* в течение вегетационного периода (2013 г.)

| Вариант опыта | Численность <i>Trichoderma harzianum</i> (млн КОЕ/г) | | | |
|------------------------|--|------------|------------|-------------|
| | Июнь | Июль | Август | Сентябрь |
| Почва+триходерма | 4,8 ± 0,2 | 3,24 ± 0,4 | 3,00 ± 0,9 | 2,35 ± 0,4 |
| Опилки+триходерма | 4,8 ± 0,2 | 3,28 ± 0,1 | 3,14 ± 0,2 | 2,85 ± 0,2 |
| Микопродукт+триходерма | 4,8 ± 0,2 | 3,31 ± 0,2 | 3,4 ± 0,9 | 4,02 ± 0..5 |

Положительные результаты опытов по сохранности грибов р. *Trichoderma* в течение вегетационного периода в почве сосняка разнотравного (Погорельский бор) позволили продолжить исследования и с другими штаммами-антагонистами, которыми обрабатывали семена хвойных и которые вносили почву вместе с опилками и микопродуктом. Для предпосевной обработки семян использовали аборигенные штаммы микромицетов из рода *Trichoderma* и бактерии из родов *Bacillus*, *Streptomyces*, *Pseudomonas*. Совместное воздействие антагонистов и МП положительно повлияло на грунтовую всхожесть семян, сохранность сеянцев и их качество (морфометрические параметры). Так, в конце вегетации наибольшее количество сеянцев было в вариантах с

S. lateritius и *T. longibrachiatum* (+МП), что в 5,3 и 1,5 раза превышало контрольные значения (с опилками). Сочетание семян, обработанных микробами, и микопродукта также вызывало увеличение численности микроорганизмов гидролитического и копитрофного комплексов, в то время как в варианте с опилками преобладали олиготрофы. Во всех вариантах отмечено повышение микробной биомассы (от 14 до 53 %) и активности гидролитических ферментов в почве под посевами (от 4 до 32 %). Наибольшее влияние на эти показатели оказала обработка семян микромицетами *T. harzianum*, *T. longibrachiatum* и *S. lateritius*. Показано, что численность внесенных антагонистов (р. *Trichoderma*) благодаря МП держалась на высоком уровне в течение вегетационного периода (в среднем 35–40 тыс. КОЕ/г почвы), что способствовало пролонгированию их активности и положительно сказалось на сеянцах сосны обыкновенной. Кроме того, за счет внесения добавочных субстратов (МП, ОП) в течение всей вегетации (июнь–сентябрь) процессы минерализации и накопления органики протекали достаточно интенсивно, с преобладанием первых (в 1,5–1,8 раза), особенно в вариантах с *T. longibrachiatum* и *S. lateritius*, что отражали коэффициенты микробиологической минерализации ($K_{\text{мин}}=13,12-5,46$) и олиготрофности ($K_{\text{олиг}}=8,66-3,04$). Преобладание процессов минерализации ($K_{\text{мин}}=9,3$) над гумусообразованием ($K_{\text{гум}}=0,73$) в течение вегетационного сезона указывало на недостаток органического азота для растений [7], что, в свою очередь, может повлиять на рост и развитие сеянцев. Устранить этот недостаток можно путем внесения в почву азота и получения более эффективного продукта биоконверсии опилок – опилочно-почвенного субстрата, биокомпостированного микродозами азотных удобрений с добавлением микопродукта [1].

Таким образом, добавление микопродукта, полученного путем биоконверсии сосновых опилок, в почву питомника позволило увеличить сохранность и качество лесопосадочного материала, продуктивность (биогенность) почвы и время активности внесенных (с семенами хвойных) микробов-антагонистов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антонов Г.И., Сорокин Н.Д., Барченков А.П., Кондакова О.Э. Оптимизация лесовыращивания с использованием биоконверсии древесно-опилочной массы в условиях Красноярской лесостепи // Лесоведение. 2018. № 1. С. 56–64.
2. Гродницкая И.Д., Кондакова О.Э., Терещенко Н.Н. Влияние микробов-антагонистов на биогенность почвы и сохранность сеянцев хвойных в искусственных фитоценозах // Сибирский лесной журнал. 2016. № 6. С. 13–25.
3. Куликова Н.А., Кляйн О.И., Степанова Е.В., Королева О.В. Использование базидиальных грибов в технологиях переработки и утилизации техногенных отходов: фундаментальные и прикладные аспекты (обзор) // Прикладная биохимия и микробиология. 2011. Т. 47. № 6. С. 619–634.
4. Ленскинова Л.В. Получение биоудобрения на основе биодеструкции опилок для оптимизации деградированных почв: автореф. дисс. ... канд. биол. наук: 06.01.03. Улан-Удэ, 2003. 22 с.
5. Мокрушина Н.С., Тарасова Т.С., Дармов И.В. Выделение микромицетов, перспективных для разработки на их основе биопрепарата для ускоренной переработки древесных отходов в удобрение // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2010. № 2 (2). С. 430–434.
6. Пашенова Н.В., Лоскутов С.Р., Пермякова Г.В., Анискина А.А. Влияние отвара чистотела на биоконверсию сосновых опилок культурами базидиальных грибов-ксилотрофов // Новые достижения в химии и химической технологии растительного сырья: матер. IV Всерос. конф. 21–23 апр. 2009 г. Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2009. Кн. 2. С. 39–41.
7. Перфильев Н.В., Вьюшина О.А., Майсямова Д.Р. Влияние систем основной обработки на микробиологическую активность темно-серой лесной почвы в Северном Зауралье // Вестник КрасГАУ. 2015. № 2. С. 3–5.

8. Рабинович М.Л., Болобова А.В. Древесина и разрушающие ее грибы // Теоретические основы биотехнологии древесных композитов. М.: Наука, 2001. С. 193–237.

BIOCONVERSION PRODUCTS OF CONIFERY WOOD WASTE IN THE BIOREMEDIATION OF DEGRADIATED SOILS

I.D. GRODNITSKAYA, N.V. PASHENOVA, O.E. KONDAKOVA

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (igrod@ksc.krasn.ru)

For bioremediation of disturbed soils the mycoproducts obtained through bioconversion of wood waste by basidial xylotrophic fungi are used as ecologically safe fertilizers. The mycoproduct (MP) produced by laboratory solid-state cultivation of the wood-destroying basidial fungus *Trametes versicolor* B18/91 on moistened pine sawdust was designed to be introduced into the forest nursery soil. This MP differed from the initial material (pine sawdust) in a number of chemical parameters: the amount of extractive substances in the MP exceeded the one in sawdust in 2 times, the content of recalcitrant substances (lignin and cellulose) decreased by 12–13 %. Addition of the mycoproduct to the nursery soil increased the safety and quality of the forest planting material, the productivity (biogenicity) of the nursery soil, prolonged the period of activity of microbial antagonists that were introduced into soil together with seeds of conifers.

ВЛИЯНИЕ МАКРОСТРОЕНИЯ КСИЛЕМЫ НА ПЛОТНОСТЬ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ И ЕЛИ В СПЕЛЫХ ДРЕВОСТОЯХ, НЕ ЗАТРОНУТЫХ ХОЗЯЙСТВЕННЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ

Д.А. ДАНИЛОВ¹, Д.А. ЗАЙЦЕВ²

¹ Ленинградский НИИСХ «Белогорка», Ленинградская область, Россия (stown200@mail.ru)

² Санкт-Петербургский лесотехнический университет им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия (disoks@gmail.com)

В естественных смешанных хвойных древостоях в зависимости от доли участия породы формируется определенная плотность древесины ели (*Picea abies*) и сосны (*Pinus sylvestris*) [1–5, 7, 9]. Плотность древесины обуславливается соотношением структурных элементов ксилемы на уровне ее макро- и микростроения [2, 4–6]. Необходимо знать, какие параметры строения древесины ели и сосны при том или ином составе насаждения будут обуславливать ее плотность. В качестве опытных объектов в проведенном исследовании выступали спелые (85–105 лет) хвойные древостои черничной группы типов леса с разной долей участия ели и сосны. На постоянных пробных площадях в Гатчинском районном лесничестве Ленинградской области был проведен отбор образцов древесины и после определения базисной плотности древесины на высоте 1,3 м по методике Полубояринова (1976) в дальнейшем с помощью конверсионных уравнений была рассчитана средняя базисная плотность ели и сосны по ступеням толщины древостоя [3, 6]. В качестве показателей, характеризующих макроструктуру древесины, принята ширина годичного слоя ранней и поздней древесины за период исследования. Показатели определяли на 24–30 образцах древесины из представленных по ступеням толщины деревьев на пробной площади. Подготовленные керны шлифовались и обрабатывались на сканирующем устройстве с разрешением 600 тр с получением снимков высокого разрешения. Далее проводилась GIS-обработка размерности зон ранней и поздней древесины с масштабированием длины кернов в годичных приростах за период роста с помощью

программы Panorama 10. Достоверность этих сведений оценивается путем статистической обработки цифрового материала, полученного в результате целенаправленно спланированного эксперимента. При дальнейшей обработке количественных данных использовался пакет прикладной программы Statistica 11. Для определения взаимосвязей между составом древостоя и элементами макростроения и плотности древесины использовались дисперсионный и ранговый корреляционный анализы [8].

Проведенное исследование позволило выявить в ряде случаев статистически достоверные различия между различными по составу древостоями ели и сосны и показателями строения их ксилемы. Для преобладающей еловой части смешанных древостоев ели и сосны фактически по всем исследуемым насаждениям наблюдается значимое различие в зависимости от их состава в количестве поздней ксилемы в годичном приросте (табл. 1). В двух случаях недостоверность различий связана с близкими по составу группами, что, вероятно, связано с близкими таксационными значениями полноты этих насаждений как для варианта с долей участия 4Е и 7Е. При уменьшении в составе ели до 6-7 единиц не проявляется достоверных различий по содержанию ранней древесины, что связано как с полнотой насаждения, так и с фактически одинаковой количественной представленностью деревьев по ступеням толщины в этих насаждениях. Вероятно, при сходной пространственной структуре данных древостоев прирост ранней зоны древесины и размерность годичного прироста не отличаются большой вариабельностью. Для елового элемента смешанного хвойного древостоя комплекс перечисленных связей макростроения древесины ели и состава насаждения повлиял в итоге на взаимосвязь количественной ее представленности и плотность ее древесины – достоверного влияния не наблюдается в более чем половине вариантов исследуемых древостоев. Однако можно проследить тенденцию, при которой с увеличением доли ели увеличивается связь плотности древесины и состава насаждения. В целом стоит отметить, что наибольший вклад состав древостоя вносит в изменения прироста поздней древесины у ели. Это может интерпретироваться как особенности проявления влияния данной породы на внешние условия роста.

Для сосновой подчиненной части смешанного древостоя можно наблюдать совершенно другой уровень взаимосвязей с составом насаждения. Значимое различие содержания доли поздней древесины в годичном приросте по ступеням толщины древостоя и составу насаждения уменьшается с увеличением доли сосны (табл. 2). Это можно объяснить одинаковой представленностью деревьев одних и тех же ступеней в сосновой части древостоя и, следовательно, меньшей вариабельностью. Параметры зоны ранней древесины и ширина годичного прироста имеют тенденцию к большей зависимости от состава с уменьшением в нем доли сосны. Влияние состава древостоя на плотность древесины сосны статистически значимо в случае увеличения доли последней до 3–5 единиц в древостое. При увеличении количества сосны и ряда ее распределения по ступеням толщины насаждения вариабельность плотности древесины возрастает и проявляется влияние состава насаждения. Срабатывает интересный механизм: при любом изменении состава в пользу ели или сосны увеличивается зависимость от него. Это проявление взаимодействий между породами является показателем конкурентных отношений в дендроценозе. В целом достоверность различий для структурных элементов ксилемы сосны в различных по составу смешанных древостоях выше, чем у еловой части, что связано с меньшей ее представленностью.

Для выявления статистически значимых взаимосвязей между макростроением древесины сосны и ели был проведен ранговый корреляционный анализ по критерию Спирмена. Полученные статистические показатели, приведенные в табл. 3,

показывают, что в зависимости от доли участия породы в составе выявлен ряд достоверных взаимосвязей между плотностью древесины и зонами ранней и поздней ксилемы. Для ели можно наблюдать следующее: с уменьшением доли ее участия в древостое связь плотности ее древесины с содержанием доли поздней ксилемы возрастает. Для параметров ранней древесины наблюдается также увеличение этой взаимосвязи с ее плотностью, но взаимосвязь обратная, то есть с уменьшением первой увеличивается последняя.

Таблица 1. Статистическая достоверность различий показателей макростроения и плотности древесины ели в зависимости от состава древостоя

| Достоверные различия для доли поздней древесины ели в годичном приросте для древостоев с ее преобладанием | | | | | | |
|---|-----|----|----|----|----|----|
| Состав | 10Е | 9Е | 8Е | 7Е | 6Е | 5Е |
| 9Е | 0 | - | - | - | - | - |
| 8Е | 1 | 1 | | | | |
| 7Е | 1 | 1 | 1 | | | |
| 6Е | 1 | 1 | 1 | 0 | - | |
| 5Е | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| 4Е | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| Достоверные различия для доли ранней древесины ели для древостоев с ее преобладанием | | | | | | |
| 9Е | 1 | | - | - | - | - |
| 8Е | 1 | 1 | | | | |
| 7Е | 1 | 0 | 1 | | | |
| 6Е | 1 | 0 | 1 | 0 | | |
| 5Е | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| 4Е | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| Достоверные различия для ширины годичного слоя древесины ели для древостоев с ее преобладанием | | | | | | |
| 9Е | 1 | | - | - | - | - |
| 8Е | 1 | 1 | | | | |
| 7Е | 0 | 0 | 1 | | | |
| 6Е | 0 | 0 | 1 | 0 | | |
| 5Е | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | - |
| 4Е | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| Достоверные различия для плотности древесины ели для древостоев с ее преобладанием | | | | | | |
| 9Е | 1 | - | - | - | - | - |
| 8Е | 0 | 1 | | | | |
| 7Е | 1 | 0 | 1 | | | |
| 6Е | 1 | 0 | 1 | 0 | | |
| 5Е | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | |
| 4Е | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Примечание. «1» – различия статистически значимы при $p < 0,05$; «0» – различия статистически не значимы при $p < 0,05$.

В древостоях с долей участия ели меньше 60 % для ширины годичного прироста наблюдается умеренная обратная связь с плотностью древесины с уменьшением ее величины. Для сосны можно наблюдать высокую взаимосвязь макроструктуры ксилемы и ее плотности в древостоях с минимальным участием этой породы – от 3 до 5 единиц в составе.

В древостоях ели с долей участия последней 70–80 % данная взаимосвязь ниже, однако она значима (табл. 3). Статистически значимой связи плотности древесины сосны с шириной годичного прироста не обнаруживается.

Таблица 2. Статистическая достоверность различий показателей макростроения и плотности древесины сосны в зависимости от состава древостоя

| Достоверные различия для доли поздней древесины сосны в годичном приросте для древостоев с преобладанием ели | | | | | | |
|--|-------|----|----|----|----|----|
| Состав | 10E+C | 9E | 8E | 7E | 6E | 5E |
| 9E(1C+B,0c) | 1 | - | - | - | - | - |
| 8E(2C+B,0c) | 1 | 1 | - | - | - | - |
| 7E(3C+B/2C1B) | 1 | 1 | 0 | - | - | - |
| 6E(1C2Oc1B) | 1 | 1 | 0 | 1 | - | - |
| 5E(5C/1C4B) | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | - |
| Достоверные различия для доли ранней древесины сосны в древостоях с преобладанием ели | | | | | | |
| 9E(1C+B,0c) | 1 | - | - | - | - | - |
| 8E(2C+B,0c) | 1 | 0 | - | - | - | - |
| 7E(3C+B/2C1B) | 1 | 1 | 1 | - | - | - |
| 6E(1C2Oc1B) | 1 | 0 | 0 | 1 | - | - |
| 5E(5C/1C4B) | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | - |
| Достоверные различия для ширины годичного слоя сосны в древостоях с преобладанием ели | | | | | | |
| 10E(10B+C, 2 яр 10E) | 1 | - | - | - | - | - |
| 9E(1C+B,0c) | 1 | 0 | - | - | - | - |
| 8E(2C+B,0c) | 1 | 1 | 1 | - | - | - |
| 7E(3C+B/2C1B) | 1 | 0 | 0 | 1 | - | - |
| 6E(1C2Oc1B) | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | - |
| 5E(5C/1C4B) | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| Достоверные различия для плотности древесины сосны в древостоях с преобладанием ели | | | | | | |
| 9E(1C+B,0c) | 0 | - | - | - | - | - |
| 8E(2C+B,0c) | 1 | 1 | - | - | - | - |
| 7E(3C+B/2C1B) | 0 | 0 | 1 | - | - | - |
| 6E(1C2Oc1B) | 0 | 0 | 0 | 0 | - | - |
| 5E(5C/1C4B) | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | - |

Примечание. «1» – различия статистически значимы при $p < 0,05$; «0» – различия статистически не значимы при $p < 0,05$

Таблица 3. Ранговый анализ взаимосвязи макростроения и плотности древесины ели и сосны в смешанных хвойных древостоях с преобладанием ели (по критерию Спирмена, R_{sp})

| Элементы ксилемы ели | 90 % – 100 % | | | 80 % – 70 % | | | 60 % – 50 % | | |
|----------------------|--------------|-------------|---------|--------------|-------------|---------|--------------|-------------|---------|
| | R_{sp} | $t_{(N-2)}$ | p-value | R_{sp} | $t_{(N-2)}$ | p-value | R_{sp} | $t_{(N-2)}$ | p-value |
| Поздняя | 0,66* | 5,35 | 0,00 | 0,66 | 4,50 | 0,00 | 0,69 | 7,04 | 0,00 |
| Ранняя | -0,66 | -5,35 | 0,00 | -0,66 | -4,50 | 0,00 | -0,69 | -7,04 | 0,00 |
| Годичный прирост | 0,22 | 1,37 | 0,18 | -0,04 | -0,22 | 0,823 | -0,30 | -2,29 | 0,03 |
| Сосна | | | | | | | | | |
| сосны | R_{sp} | $t_{(N-2)}$ | p-value | R_{sp} | $t_{(N-2)}$ | p-value | R_{sp} | $t_{(N-2)}$ | p-value |
| Поздняя | 0,71 | 3,16 | 0,01 | 0,36 | 2,08 | 0,046 | 0,74 | 6,00 | 0,00 |
| Ранняя | -0,71 | -3,16 | 0,01 | -0,36 | -2,08 | 0,046 | -0,74 | -6,00 | 0,00 |
| Годичный прирост | -0,29 | -0,97 | 0,36 | -0,05 | -0,27 | 0,793 | 0,15 | 0,84 | 0,41 |

Примечание. Различия, статистически значимые при $p < 0,05$, выделены курсивом.

Данные результаты, полученные для этих пород, указывают, что на уровне

строения древесины могут быть значимые взаимосвязи не с макростроением, а, вероятней, с микростроением, то есть на клеточном уровне. В зависимости от величины клеток, количества, толщины клеточных стенок будет проявляться все более тесная связь с плотностью ксилемы у ели или сосны [2, 6]. Исследование показало, что состав насаждения значимо влияет на показатели строения древесины и ее комплексный показатель – плотность. В зависимости от биологии данных пород эти взаимосвязи имеют различный характер и направленность, что и показало проведенное исследование.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Древесное сырье – стратегическая основа и резерв цивилизации* / Гелес И.С. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. 499 с.
2. Данилов Д.А., Скупченко В.Б. Изменения в строении древесины сосны и ели на анатомическом уровне в древостоях, пройденных рубками ухода и комплексным уходом // Лесной журнал. Архангельск: САФУ, 2014. № 5. С.70–88.
3. Данилов Д.А., Смирнов А.П. Влияние структуры древостоя на плотность древесины сосны и ели в черничном типе леса // Лесотехнический журнал. 2014. № 4. С. 13–20.
4. Нахабцев И.А. Плотность древесины – количественный показатель характеристики древесного сырья // Лесная таксация и лесоустройство. Межвуз. сб. научн. тр. Красноярск, 1990. С. 38–40.
5. *Смена сосны елью* / Чибисов Г.А. Архангельск: СевНИИЛХ, 2010. 150 с.
6. *Плотность древесины* / Полубояринов О.И. М.: Лесная пром-сть, 1976. 160 с.
7. Bues C.T. Wood quality of fast and normal growing trees // Fast growing trees and nitrogen fixing tree. International conference. Marburg. G. Fischer Verlag. 1989. Pp. 340–353.
8. Kowalczyk T.; Pleszczyńska E.; Ruland F., eds. (2004). *Grade Models and Methods for Data Analysis with Applications for the Analysis of Data Populations. Studies in Fuzziness and Soft Computing*. 151. Berlin Heidelberg New York: Springer Verlag. ISBN 978-3-540-21120-4.
9. Repola J. Models for Vertical Wood Density of Scots Pine, Norway Spruce and Birch Stems, and Their Application to Determine Average Wood Density *Silva Fennica*. 2006. 40(4). 673–675.

INFLUENCE OF MACRO STRUCTURE XYLEM ON THE DENSITY OF PINE AND SPRUCE IN MATURE VIRGIN FOREST STANDS

D.A. DANILOV¹, D.A. ZAITSEV²

¹Leningrad scientific research Institute of agriculture Belogorka (stown200@mail.ru)

²Saint-Petersburg State Forest Technical University (disoks@gmail.com)

The studies examine the relationship between the composition of the coniferous tree stand on the parameters of the structure of wood and the density of spruce and pine wood. For spruce and pine the relationship between the density of wood and the level of its macro structure differing in character and strength is found. The reliability of the differences for the structural elements of xylem pine in the tree stands of different composition is higher than in the spruce part.

СВЯЗЬ БАЗИСНОЙ ПЛОТНОСТИ СО СРЕДНИМ ГОДИЧНЫМ ПРИРОСТОМ, ПРОЦЕНТОМ ПОЗДНЕЙ ДРЕВЕСИНЫ И ТОЛЩИНОЙ КОРЫ В СРЕДНЕВОЗРАСТНЫХ ЕЛЬНИКАХ НА МИНЕРАЛЬНЫХ ПОЧВАХ И НА ОСУШЕННЫХ ТОРФЯНИКАХ В КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

С.А. ЕРМАКОВ

Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Калининградский филиал, Полесск, Россия (sergej.ermakov.1964@mail.ru)

Обследовано 7 участков 48–74-летних культур ели в Полесском лесничестве Калининградской области. Два участка 48-летних культур ели на богатых суглинистых почвах использовались для сравнения, остальные пять располагались на осушенных переходных и низинных торфяниках.

На заложенных пробных площадях проведены таксационные измерения по общепринятым методикам [3, 4]. Запас древостоев определен с помощью таблиц объемов по разрядам высот. На опытных участках закладывали почвенные разрезы и прикопки с морфологическим описанием почвенных горизонтов и определением типа гумуса и названия почвы по О.Г. Чертову [6].

Для определения влияния условий местопроизрастания еловых культур (органогенные или минеральные почвы) на ширину годичного кольца, процент поздней древесины и толщину коры использовали модельные деревья, отобранные для исследования базисной плотности древесины. Для этого на каждой пробе, согласно рекомендациям О.И. Полубояринова [5], отбиралось и спиливалось по 6 модельных деревьев из средней ступени толщины. Для определения плотности на относительных высотах через 0,1 высоты, а также на высоте груди (1,3 м) отбирались образцы древесины [5]. Замер годичных колец, доли поздней древесины и толщины коры осуществлялся с помощью лупы и металлической линейки с точностью 0,1 мм.

В табл. 1 представлена таксационная характеристика культур ели. В живом напочвенном покрове на всех опытных объектах преобладала кислица. На участке с муллевыми почвами и высшей продуктивностью древостоя (класс бонитета Ib) в подлеске представлены лещина, бузина, в подросте – дуб. Поэтому тип леса здесь ельник дубняковый, на остальных пробных площадях – ельник кисличник. На трех участках (ПП 2, ПП 3 и ПП 5) древостой является чистым по составу (9–10 Е), на остальных примесь лиственных составляет 2–5 единиц [1, 2].

В табл. 2 представлены корреляционные показатели связи между базисной плотностью и шириной годичного кольца на пробных площадях. На минеральных почвах (ПП 1, 2) связь между признаками в диапазоне от умеренной до слабой, коэффициент корреляции изменяется от 0,25 до 0,3, коэффициент детерминации незначителен: 0,09–0,06. На осушенных торфяниках (ПП 3, 4, 5, 6, 7) связь между признаками от умеренной до значительной, коэффициент корреляции изменяется от 0,416 на ПП 7 до 0,636 на ПП 4. Коэффициент детерминации находится в пределах 0,17–0,4, факторный признак – базисная плотность древесины – определяет от 17 % до 40 % дисперсии зависимого признака – средней ширины годичного кольца. На ПП 3 связь обратная.

В табл. 3 представлены корреляционные показатели связи между базисной плотностью и процентом поздней древесины на высоте 1,3 м на пробных площадях. На минеральных почвах (ПП 1, 2) связь между признаками слабая, коэффициент корреляции изменяется от -0,012 до 0,116, коэффициент детерминации незначителен: 0,0–0,013. На осушенных торфяниках (ПП 3, 4, 5, 6, 7) коэффициент корреляции изменяется от -0,15 на ПП 5 до -0,574 на ПП 4. Коэффициент детерминации находится

в пределах 0,02–0,33, факторный признак – базисная плотность древесины – определяет от 2 % до 33 % дисперсии зависимого признака – средней ширины годичного кольца. На ПП 4 и 5 связь обратная.

Таблица 1. Таксационная характеристика лесных культур ели на минеральных и осушенных торфяных почвах в Полесском лесничестве Калининградской области

| № пробной площади, почва | Возраст л/к, лет | Состав | Густота, дер./га | Показатели яруса | | Полнота яруса | | Запас, м ³ /га общий по ели | Класс бонитета Тип леса |
|-------------------------------------|------------------|-------------|------------------|---------------------|----------------------|--------------------|------|---|----------------------------|
| | | | | Н _{ср} , м | Д _{ср} , см | м ² /га | отн. | | |
| 1. Модермуллевая суглинистая | 49 | 7Е2Олч1Б+Ос | 1076 | 23,3 | 19,7 | 32,8 | 0,83 | <u>367</u> 257 | Ia Е кисл |
| 2. Муллевая суглинистая | 48 | 10Е+ Яс+Б | 688 | 25,7 | 25,0 | 33,7 | 0,81 | <u>416</u> 416 | Iб Е дуб. |
| 3. Торфяно-глеевая осушенная | 48 | 9Е1Б | 1071 | 19,2 | 20,1 | 34,0 | 0,95 | <u>322</u> 290 | I Е кисл |
| 4. Торфяно-глеевая осушенная | 74 | 7ЕЗБ+С | 709 | 23,7 | 22,1 | 27,2 | 0,68 | <u>312</u> 218 | I-II Е кисл |
| 5. Торфяная осушенная | 65 | 9Е1Б+С | 704 | 22,0 | 21,3 | 25,1 | 0,65 | <u>273</u> 246 | I-II Е кисл |
| 6. Торфяно-глеевая осушенная | 57 | 5Е5Б+С | 983 | 19,9 | 18,0 | 25,0 | 0,70 | <u>251</u> 126 | I-II Е кисл |
| 7. Перегнойно-торфянистая осушенная | 48 | 8Е2Д+Б | 852 | 21,8 | 21,9 | 32,1 | 0,84 | <u>333</u> 266 | Ia Е кисл |

Таблица 2. Корреляционные показатели связи между базисной плотностью и шириной годичного кольца по средним значениям 6 модельных деревьев

| № ПП | Базисная плотность, кг/м ³ | Ширина годичн. кольца, мм | Теснота (сила) связи (по Дворецкому) | Зависимость признаков (p>0,05) | Критерий Стьюдента, t | Коэф-фициент корреляции r | Коэф-фициент детерминации r ² |
|------|---------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|-----------------------|---------------------------|--|
| 1 | 353,9 | 2,38 | умеренная | не значима | 0,636 | 0,303 | 0,09 |
| 2 | 293,3 | 2,85 | слабая | не значима | 0,516 | 0,25 | 0,06 |
| 3 | 366,9 | 2,71 | значительная | не значима | 1,424 | -0,58 | 0,336 |
| 4 | 396,8 | 2,2 | значительная | не значима | 1,628 | 0,636 | 0,4 |
| 5 | 378,6 | 2,86 | значительная | не значима | 1,439 | 0,584 | 0,341 |
| 6 | 371,1 | 1,92 | умеренная | не значима | 1,094 | 0,48 | 0,23 |
| 7 | 370,3 | 2,47 | умеренная | не значима | 0,916 | 0,416 | 0,17 |

Примечание. Критическое значение t-критерия Стьюдента -2,776.

В табл. 4 представлены корреляционные показатели связи между базисной плотностью и толщиной коры на пробных площадях. На минеральных почвах (ПП 1, 2) связь между признаками от значительной до очень высокой (ПП 1: зависимость признаков значима на 95%-м уровне, близка к функциональной), коэффициент корреляции изменяется от 0,903 до 0,665, коэффициент детерминации – от 0,82–0,44. Это означает, что в 82–44 % случаев базисная плотность изменяется в зависимости от средней толщины коры, в остальных 18–56 % она обусловлена другими причинами. На осушенных торфяниках (ПП 3, 4, 5, 6, 7) коэффициент корреляции изменяется от -0,073 на ПП 7 до -0,49 на ПП 5. Коэффициент детерминации находится в пределах 0,005–0,24, факторный признак – базисная плотность древесины – определяет от 5 % до 24 %

дисперсии зависимого признака – толщины коры. На всех пробных площадях осушенных торфяников, кроме ПП 3, связь обратная.

Таблица 3. Корреляционные показатели связи между базисной плотностью и процентом поздней древесины на высоте 1,3 м по средним значениям 6 модельных деревьев

| № ПП | Базисная плотность, кг/м ³ | Процент поздней древесины на высоте 1,3 м | Теснота (сила) связи (по Дворецкому) | Зависимость признаков (p>0,05) | Критерий Стьюдента, t | Коэффициент корреляции r | Коэффициент детерминации r ² |
|------|---------------------------------------|---|--------------------------------------|--------------------------------|-----------------------|--------------------------|---|
| 1 | 353,9 | 16,87 | слабая | не значима | -0,024 | -0,012 | 0,00 |
| 2 | 293,3 | 20,77 | слабая | не значима | 0,234 | 0,116 | 0,013 |
| 3 | 366,9 | 18,08 | умеренная | не значима | 0,855 | 0,393 | 0,154 |
| 4 | 396,8 | 23,14 | значительная | не значима | 1,402 | -0,574 | 0,33 |
| 5 | 378,6 | 19,74 | слабая | не значима | 0,304 | -0,15 | 0,02 |
| 6 | 371,1 | 20,96 | умеренная | не значима | 0,93 | 0,422 | 0,178 |
| 7 | 370,3 | 20,45 | слабая | не значима | 0,455 | 0,222 | 0,05 |

Примечание. Критическое значение t-критерия Стьюдента -2,77.

Таблица 4. Корреляционные показатели связи между базисной плотностью и толщиной коры по средним значениям 6 модельных деревьев

| № ПП | Базисная плотность, кг/м ³ | Толщина коры, мм | Теснота (сила) связи (по Дворецкому) | Зависимость признаков (p>0,05) | Критерий Стьюдента, t | Коэффициент корреляции r | Коэффициент детерминации r ² |
|------|---------------------------------------|------------------|--------------------------------------|--------------------------------|-----------------------|--------------------------|---|
| 1 | 353,9 | 3,06 | очень высокая | значима | 4,203 | 0,903 | 0,82 |
| 2 | 293,3 | 2,96 | значительная | не значима | 1,779 | 0,665 | 0,44 |
| 3 | 366,9 | 2,97 | слабая | не значима | 0,241 | 0,12 | 0,014 |
| 4 | 396,8 | 4,4 | слабая | не значима | 0,354 | -0,174 | 0,03 |
| 5 | 378,6 | 4,15 | умеренная | не значима | 1,126 | -0,49 | 0,24 |
| 6 | 371,1 | 2,62 | умеренная | не значима | 0,949 | -0,420 | 0,184 |
| 7 | 370,3 | 3,61 | слабая | не значима | 0,146 | -0,073 | 0,005 |

Примечание. Критическое значение t-критерия Стьюдента -2,776.

Выводы

1. Связь между базисной плотностью и шириной годовичного кольца сильнее в насаждениях на осушенных торфяниках, чем на минеральных почвах, коэффициент детерминации изменяется в пределах от 17 % до 40 %, тогда как на минеральных почвах коэффициент детерминации незначителен, но связь между признаками на 95%-м уровне не значима, поэтому существует в виде тенденции.

2. Связь между базисной плотностью и процентом поздней древесины на высоте 1,3 м сильнее в культурах на осушенных торфяниках, чем на минеральных почвах, коэффициент детерминации изменяется в пределах от 2 % до 33 %, тогда как на минеральных почвах коэффициент детерминации незначителен, но связь между признаками на 95%-м уровне не значима, поэтому существует в виде тенденции.

3. Связь между базисной плотностью и толщиной коры сильнее на минеральных почвах, чем на осушенных торфяниках (причем на ПП 1 связь между признаками значима на 95%-м уровне, коэффициент корреляции 0,903). Коэффициент детерминации на минеральных почвах от 0,82–0,44, это значит, что в 82–44 % случаев базисная плотность изменяется в зависимости от средней толщины коры, в остальных 18–56% она обусловлена другими причинами. Коэффициент детерминации на

осушенных торфяниках определяет от 5 % до 24 % дисперсии зависимого признака – толщины коры.

Автор выражает благодарность профессору кафедры лесоводства СПбГЛТУ Александру Петровичу Смирнову за поддержку в написании работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ермаков С.А., Смирнов А.П.* Плотность древесины ели в лесных культурах на торфяных и минеральных почвах Калининградской области // Известия СПбГЛТА. 2013. № 205. С. 65–72.
2. *Ермаков С.А., Смирнов А.П.* Форма и полндревесность стволов ели в средневозрастных лесных культурах на торфяных и минеральных почвах Калининградской области // Известия СПбГЛТА. 2014. № 209. С. 41–52.
3. *Моисеев В.С.* Таксация леса: учеб. пособие для лесотехнических вузов. Л.: ЛТА, 1970. 258 с.
4. *Никифорчин И.В., Ветров Л.С., Вавилов С.В.* Таксация леса: учеб. пособие для студентов лесных вузов. СПб.: Изд-во Политех. ун-та, 2011. 240 с.
5. *Полубояринов О.И.* Плотность древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1976. 161 с.
6. *Чертов О.Г.* Изучение типов местообитания леса на Северо-Западе СССР: метод. указания. Л.: ЛенНИИЛХ, 1974. 73 с.

COMMUNICATION OF BASIC DENSITY WITH THE AVERAGE ANNUAL GROWTH RATE, THE PERCENTAGE OF LATE WOOD AND THE THICKNESS OF CRUST IN MIDDLE-AGED SPRUCE FORESTS ON MINERAL SOILS AND ON DRAINED PEAT LANDS IN THE KALININGRAD REGION

S.A. ERMAKOV

St. Petersburg State Agrarian University Kaliningrad Branch, Polessk, Russia
(sergej.ermakov.1964@mail.ru)

Our research was aimed at studying the comparative silvicultural assessment of highly productive middle-aged spruce cultures on drained peat bogs and rich mineral soils of the Kaliningrad region. Together with the generally accepted taxation indicators, the effect of the basis density of wood on the width of the annual ring, the percentage of late wood at an altitude of 1,3 m, and the thickness of the crust was investigated.

The results of the study showed that the relationship between the basis density of spruce stands and the width of the annual ring, as well as the percentage of late wood at an altitude of 1,3 m, is stronger in cultures on drained peatlands than in mineral soils, but this connection exists as a trend. The relationship between the basis density and the thickness of the crust is stronger in spruce forests on mineral soils than on drained peatlands.

ВНУТРЕННИЕ ИСТОЧНИКИ МАССЫ ПРИ СУШКЕ ДРЕВЕСИНЫ

М.Г. ЕРМОЧЕНКОВ

Мытищинский МГТУ им. Н.Э. Баумана, Мытищи, Россия (ermochenkov@mgul.ac.ru)

Древесина является природным, экологически чистым материалом. Она широко используется в качестве строительных и отделочных материалов. Для изменения свойств древесины широко используется ее термическая обработка. Одним из технологических процессов, предполагающих тепловое воздействие на древесину, является сушка. Удаление влаги из древесины – длительный и энергоемкий процесс. Оптимизация технологических воздействий и управление процессом могут быть выполнены на основе математического моделирования процессов, протекающих в материале при нагреве.

Была разработана математическая модель теплообмена в древесине при интенсивном тепловом воздействии [3].

Входящие в модель уравнения переноса теплоты и массы включают члены, описывающие внутренние источники массы и теплоты, связанные с испарением влаги в древесине.

В общем случае в древесине могут присутствовать различные виды свободной и связанной влаги [4]. Разрушение связей влаги с древесным веществом происходит в разных диапазонах температур, что обуславливает многостадийность процесса сушки. Удаление связанной влаги можно рассматривать как многостадийный физико-химический процесс. Кинетика процесса зависит, в том числе, от влажности среды. Проведенные исследования по оценке влияния относительной влажности сушильного агента на кинетические параметры сушки, позволили сделать допущение, что только энергия активации E является функцией влажности среды [1]. В этом случае уравнение, описывающее скорость изменения концентрации влаги в древесине, имеет вид [5]:

$$\frac{d\omega}{d\tau} = \sum_{i=1}^m \omega_{0,i} A_i \exp\left(-\frac{E(\varphi)_i}{RT}\right) \quad (1)$$

где ω – концентрация влаги в древесине, определяется как функция начального W_0 , конечного W_k и текущего W_i влагосодержания:

$$\omega = \frac{W_i - W_k}{W_0 - W_k}, \quad (2)$$

A_i – частотный фактор i -й стадии, [с⁻¹]; E_i – энергия активации реакции i -й стадии, [Дж/моль]; R – универсальная газовая постоянная, [Дж/(кг·К)]; T – температура, [К].

Кинетические параметры стадий удаления влаги из древесины могут быть получены из результатов термогравиметрического анализа. Для получения кинетических параметров стадий процесса сушки можно воспользоваться методом, предложенным профессором Шведовым Б.А. [5]. Суть метода заключается в следующем – на термогравиметрической кривой выбирается интервал температур, на котором завершены все стадии, кроме последней [3]. Для этой стадии можно записать:

$$\frac{d\omega_n}{d\tau} = \omega_n A_n \exp\left(-\frac{E_n}{RT}\right), \quad (3)$$

После логарифмирования получаем уравнение прямой:

$$\ln \frac{d\omega_n}{d\tau} \cdot \frac{1}{\omega_n} = \ln A_n - \frac{E_n}{R \cdot T} \quad (4)$$

Таким образом, если для выбранного интервала температур уравнение (4) прямая, то присутствует только одна стадия. Для этой стадии определяются кинетические параметры стадии A_i , E_i и $\omega_{0,i}$. По найденным параметрам рассчитывается изменение относительной массы стадии в термогравиметрическом эксперименте:

$$\omega_n(T, \tau) = \omega_{0,n} \cdot \exp \left[-A_n \int_{\tau_k}^0 \exp \left(-\frac{E_n}{R \cdot T} \right) d\tau \right]. \quad (5)$$

Из экспериментальной ТГ кривой вычитают массу последней стадии, в результате получается новая кривая потери относительной массы в ходе эксперимента, в которой отсутствует последняя стадия. Для новой кривой определяется интервал температур, на котором вышли все стадии, кроме последней, и т.д. до расчета кинетических параметров всех стадий.

Были проведены термогравиметрические исследования кинетики сушки древесины березы. Экспериментальные исследования проводились на разработанной и изготовленной установке, позволяющей проводить исследования в среде с контролируемой влажностью. В качестве образцов использовалась стружка древесины, засыпаемая в сетчатый тигель без уплотнения. Темп нагрева составлял 1 град/мин. Начальная влажность образцов составляла $W=31,34\%$.

На рис. 1 приведен график изменения по времени относительной массы влаги в экспериментальном образце.

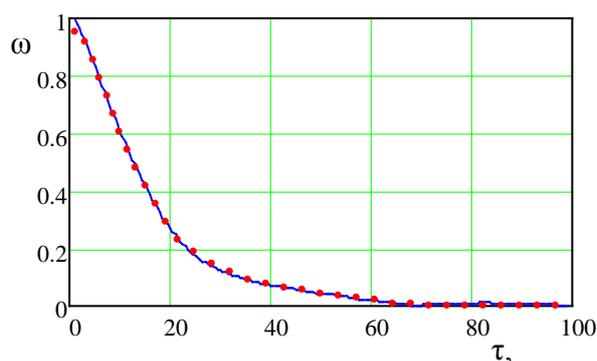


Рис. 1. График изменения по времени относительной массы влаги в образце
 — экспериментальные данные;
 - расчет по кинетическим параметрам

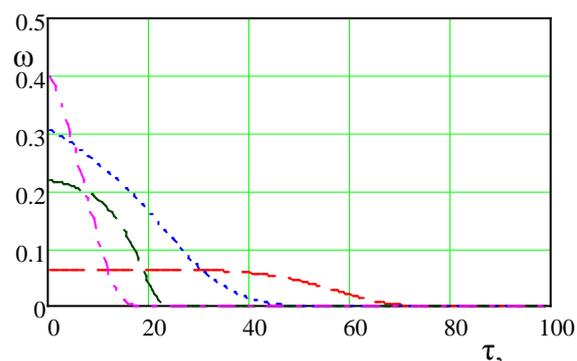


Рис. 2. Графики изменения по времени относительных масс стадий.
 - - - - - 1-я стадия; 2-я стадия;
 - · - · - · 3-я стадия; - - - - - 4-я стадия

Были рассчитаны кинетические параметры стадий удаления связанной влаги из древесины березы. Результаты расчетов приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты исследования кинетики сушки древесины березы с начальной влажностью $W_{нач} = 31,34\%$

| Порода древесины | Номер стадии | Температура максимума скорости стадии, T_{max} , К | Температура начала стадии, $T_{нач}$, К | Температура конца стадии, $T_{кон}$, К | Начальная масса стадии, ω_0 . | Энергия активации, $\frac{E}{R}$, К | Частотный фактор, A , c^{-1} |
|------------------|--------------|--|--|---|--------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| Береза | 1 | 282 | - | 299 | 0,411 | 28150 | $6,293 \cdot 10^{38}$ |
| | 2 | 301 | - | 309 | 0,219 | 27090 | $2,337 \cdot 10^{36}$ |
| | 3 | 302 | - | 319 | 0,309 | 7918 | $1,75 \cdot 10^8$ |
| | 4 | 319 | - | - | 0,064 | 17370 | $6,418 \cdot 10^{19}$ |

На рис. 2 представлены графики изменения относительных масс стадий в ходе ТГ эксперимента. На рис. 3 приведены графики скоростей изменения относительных масс отдельных стадий.

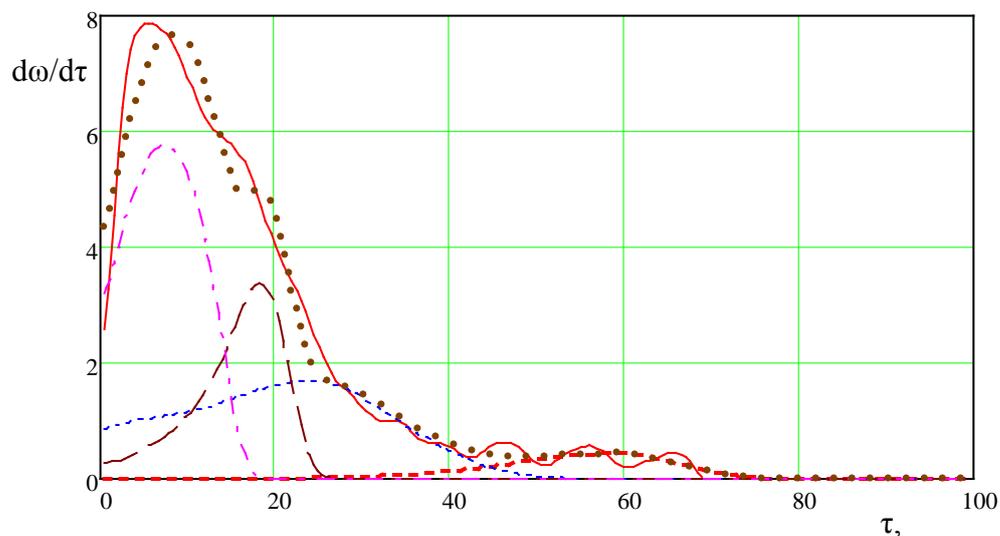


Рис. 3. Графики изменения скоростей стадий процесса удаления связанной влаги
 - - - - 1-я стадия; - - - - 2-я стадия; - 3-я стадия; - · - · - 4-я стадия;
 — — — — экспериментальная суммарная скорость изменения относительной массы;
 ······ - расчетная суммарная скорость изменения относительной массы

Были проведены ТГ исследования кинетики сушки древесины с различной начальной влажностью, $W_{нач} = (10-31) \%$. Анализ результатов позволил сделать допущение, что при отсутствии свободной влаги, начальные относительные массы стадий не зависят от начальной влажности древесины.

Проведены исследования зависимости кинетики удаления связанной влаги от относительной влажности газовой фазы. Эксперименты проводились при начальной влажности среды в диапазоне $\varphi = (3-91) \%$. Были получены эмпирические зависимости энергии активации 1-й, 2-й и 3-й стадии от относительной влажности среды:

$$E_1(\varphi) = 107,6 \cdot \exp(3,46 \cdot \varphi) + 34000; \quad (6)$$

$$E_2(\varphi) = -2,8233218 \cdot 10^8 \cdot \exp(-2,2384272 \cdot 10^{-5} \cdot \varphi) + 2,823634 \cdot 10^8; \quad (7)$$

$$E_3(\varphi) = 219 \cdot \exp(8,01 \cdot \varphi) + 15236. \quad (8)$$

Таким образом, уравнения (1)-(8) позволяют рассчитать внутренние источники массы при удалении связанной влаги из древесины. Уравнения (6)-(8) позволяют учесть зависимость скорости процесса от относительной влажности газовой фазы в порах древесины.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, проект № 37.8809.2017/8.9.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ермоченков М. Г., Евстигнеев А.Г., Кувик Т.Е. Термогравиметрические исследования кинетики термической сушки древесины // Сб. научн. тр. М.: МГУЛ, 2007. Вып. 335. С. 36-46.
2. Ермоченков М.Г., Семенов Ю.П. Математическая модель процессов, протекающих в древесине при интенсивной сушке // Строение, свойства и качество древесины. Сб. науч. тр. IV Международного симпозиума. СПб.: СПбЛТА, 2004. С. 530-533.
3. Жигунов С.В. Тепломассообмен и кинетика термодеструкции при высокотемпературном

нагреве композиционных материалов: дис... канд. техн. наук: 05.14.05. Москва: МГУЛ, 1990. 184 с.

4. Чудинов Б.С. Вода в древесине. Новосибирск: Наука, 1984. 267 с.

5. Шведов Б.А. Энерго- и массообмен в материалах тепловой защиты многоразовых ракетно-космических систем: дисс. ... докт. техн. наук : 05.14.05. Москва: МЛТИ, 1990. 542 с.

INTERNAL SOURCES OF MASS DRYING OF WOOD

M.G. ERMOCHENKOV

Mytishchi branch of MSTU named after N.E. Bauman, Mytishchi, Russia (ermochenkov@mgul.ac.ru)

The article describes the internal sources of mass in the wood during its drying. It is proposed to consider the removal of moisture from wood as a multi-stage physical and chemical process. The results of experimental studies of the kinetics of the process and the corresponding kinetic parameters of the stages are presented. The dependence of internal sources on the relative humidity of the gas phase in the wood pores is established.

К ВОПРОСУ О ТАКСОНОМИИ РОДА PSEUDOTSUGA

А.В. ИВАНОВ

Институт леса им. П.А. Гана НАН, Кыргызская Республика (aivanov2012ab@mail.ru)

При отнесении дугласии к той или иной разновидности единственно надежным признаком считают форму кроющих чешуй шишек. Многие авторы указывают только вид *Pseudotsuga menziesii*, тогда как биологические и морфологические особенности зеленой, сизой и серой разновидностей дугласии сильно отличаются.

Несколько десятилетий назад указанные разновидности дугласии классифицировали как отдельные виды: *Pseudotsuga taxifolia menziesii* (Mirb.) Franco – дугласия зеленая; *Pseudotsuga taxifolia caesia* (Schwer.) Flous – дугласия серая; *Pseudotsuga taxifolia glauca* Mayr. – дугласия сизая [6].

Все три американские разновидности представляют один полиморфный вид *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco с географическими расами и морфологическими отличиями. Данное обстоятельство привело к тому, что большинство дендрологов придерживаются мнения о существовании вида дугласии Мензиеза с подразделениями: var. *viridis* Franco – дугласия зеленая; var. *glauca* (Beissner) Schtieder – дугласия сизая; var. *caesia* Franco – дугласия серая [4].

Некоторые дендрологи различают две разновидности: лжетсугу зеленую или прибрежную *Pseudotsuga menziesii* var. *menziesii* и лжетсугу сизую, или материковую *Pseudotsuga menziesii* var. *glauca* [1].

Биологические и морфологические особенности дугласии достаточно сильно отличаются, но не всегда могут служить надежным диагностическим признаком при определении ее принадлежности к той или иной разновидности.

В научных публикациях имеются работы, в которых предлагают использовать изоферментные спектры, такие как диагностический признак при биохимических исследованиях. Различные виды рода *Juglans* имеют специфический набор изоферментов пероксидазы покоящихся почек [3].

В силу биологической специфичности белки отражают принадлежность растения виду, роду и соответственно являются «филогенетическими маркерами»,

а использование белковых маркеров позволяет идентифицировать таксономические и биологические единицы – линии, биотипы, сорта, популяции и виды [2].

Изоферментный состав хвои и почек трех разновидностей дугласии определяли в период покоя растений методом электрофореза в 10%-м разделяющем и 5%-м концентрирующем полиакриламидном геле по направлению к аноду [5].

Приведенные на рис. 1 схемы показывают, что для хвои трех разновидностей дугласии характерна меньшая гетерогенность изоферментного состава, чем для почек (4 и 6 компонентов соответственно).

У хвои зеленой разновидности выявлено по три малоподвижных компонента с примерно одинаковой интенсивностью окраски. У хвои зеленой и сизой разновидностей в верхней части фореграммы проявляются по две одинаково расположенных зоны активности, причем вторая из них выражена значительно интенсивнее. В нижней части фореграммы у всех трех разновидностей проявляется по одной зоне активности, однако у дугласии сизой эта зона активности выражена более интенсивно.

Изоферментный спектр пероксидазы почек в большей степени, чем хвои, дает возможность отличить изучаемые разновидности по наличию специфических зон ферментативной активности. Шесть компонентов проявляются у дугласии зеленой и серой. У дугласии сизой шестой компонент отсутствует. Третья и четвертая зона активности у сизой разновидности проявляется широкой полосой, тогда как у серой она менее интенсивна, а у зеленой интенсивно проявляются только третья и шестая зоны. Одинаково проявляется у всех разновидностей дугласии только третья зона активности.

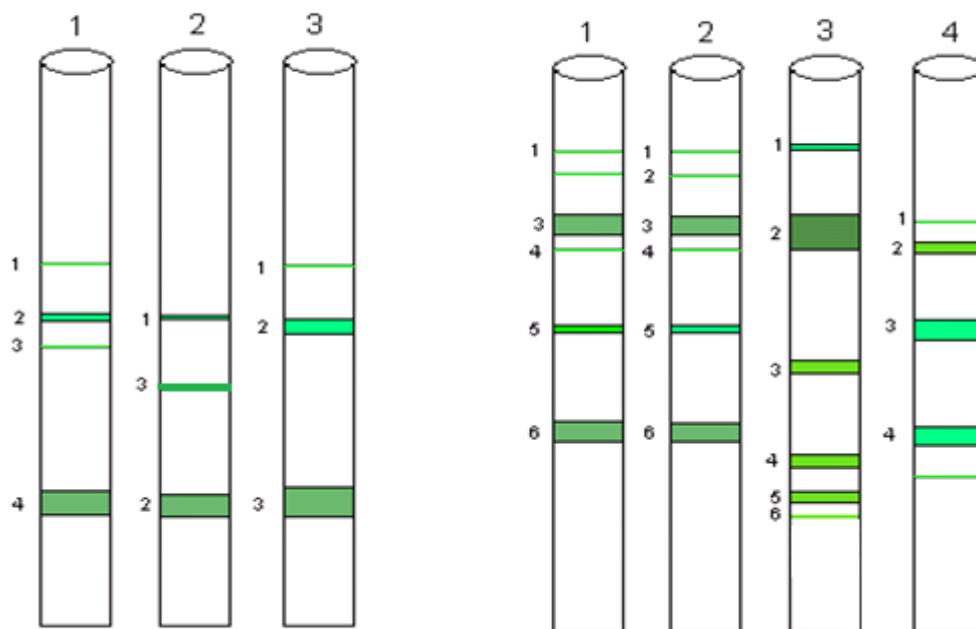


Рис. 1. Изоферментный состав хвои и почек дугласии

Хвоя

1. Дугласия зеленая
2. Дугласия серая
3. Дугласия сизая

Почки

1. Дугласия зеленая (Бишкек)
2. Дугласия зеленая (Ак-Суйское ОХ)
3. Дугласия серая
4. Дугласия сизая

Изоферментный спектр пероксидазы почек зеленой разновидности дугласии, произрастающей в различных экологических условиях г. Бишкек (760 м. н. у. м.) и Ак-Суйского опытного хозяйства (2036 м), идентичен (1 и 2 фореграммы), что говорит

о независимости изучаемого признака от условий произрастания.

Исследования изоферментного состава пероксидазы хвои и почек трех разновидностей дугласии показывают, что наиболее четкие различия между ними выявлены по изопероксидазам покоящихся почек. Отличия изоферментного состава пероксидазы почек и хвои дугласии, а также биологические и морфологические различия описанных разновидностей позволяют отнести зеленую, серую и сизую дугласии к отдельным видам.

Данный метод определения принадлежности дугласии может быть использован в селекционных работах, а также при определении вида в молодом возрасте растений, когда они еще не вступили в стадию репродуктивной способности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Булыгин Н.Е., Ярмишко В.Т. Дендрология. М., 2002. 528 с.
2. Конарев В.Г. Молекулярно-биологические исследования генофонда культурных растений в ВИРе (1967–2007 гг.). СПб., 2007. 134 с.
3. Лукашевич И.В. Использование изоферментного состава пероксидазы в таксономии видов рода *Juglans* L. // Изв. АН Кирг. ССР. Фрунзе, 1989. С. 37–39.
4. Мамаев С.А. Виды хвойных на Урале и их использование в озеленении. Свердловск, 1983. 112 с.
5. Сафонов В.И., Сафонова М.П. Анализ белков растений методом вертикального микроэлектрофореза в полиакриламидном геле // Физиология растений. 1969. Т. 16. Вып. 2. С. 350–356.
6. Щепотьев Ф.Л., Павленко Ф.А. Быстрорастущие древесные породы. М., 1962. 374 с.

TO THE QUESTION OF TAXONOMY OF THE GENUS PSEUDOTSUGA

A.V. IVANOV

P.A. Gan Institute of Forest, NAS, Kyrgyz Republic (aivanov2012ab@mail.ru)

To determine the variety of *Pseudotsuga*, it is proposed to use isoenzyme spectrum of needles and buds. Differences in the isoenzyme composition of the needles and buds, as well as biological and morphological differences, make it possible to classify the green and gray varieties as separate species.

КОЭФФИЦИЕНТЫ УСУШКИ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ ДЕЙСТВИИ РАСТЯГИВАЮЩИХ НАГРУЗОК

А.А. КАЛИНИНА, В.П. ГАЛКИН, В.Г. САНАЕВ

Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Мытищи, Россия (kalinina@mgul.ac.ru, vgalkin@mgul.ac.ru, rector@mgul.ac.ru)

Древесина представляет собой полимерную систему, состоящую из целлюлозной арматуры, которая заполнена аморфной матрицей, образованной гемицеллюлозой и лигнином. Связанная вода в этой системе образует дополнительные Н- и ОН-связи, которые значительно снижают жесткость древесины. При нагружении влажной древесины происходит изменение в этих связях, т. е. часть их разрывается и замещается на новые при деформированном состоянии материала [1, 4, 5]. Представляет интерес установить, при какой влажности и как происходит изменение данных связей.

Значение усушки при воздействии растягивающих напряжений получило название редуцированной усушки, а разница между свободной усушкой и усушкой под нагрузкой – замороженной усушки. Для того, чтобы составить представление о влиянии нагрузки на замороженную усушку, необходимо проследить изменения редуцированной усушки.

Опыты проводились на экспериментальной установке, позволяющей измерять и регулировать температуру и влажность воздуха, величину растягивающей нагрузки и деформации с точностью до 0,002 мм. Испытания на растяжение в тангенциальном направлении проводились на образцах из древесины ясеня длиной 60 мм. Рабочая часть образцов составляла 25 мм, сечение 17×3 мм.

Для оценки влияния напряжений был использован коэффициент редуцирования, представляющий собой отношение редуцированной усушки к свободной. Для древесины, влажность которой выше предела насыщения клеточных стенок, влияние нагрузки отражено на рис. 1 [2, 3, 6–11].

Как видно из графика, можно считать зависимость между коэффициентом и нагрузкой имеющей линейный характер. При увеличении растягивающей нагрузки величина усушки снижается достаточно сильно.

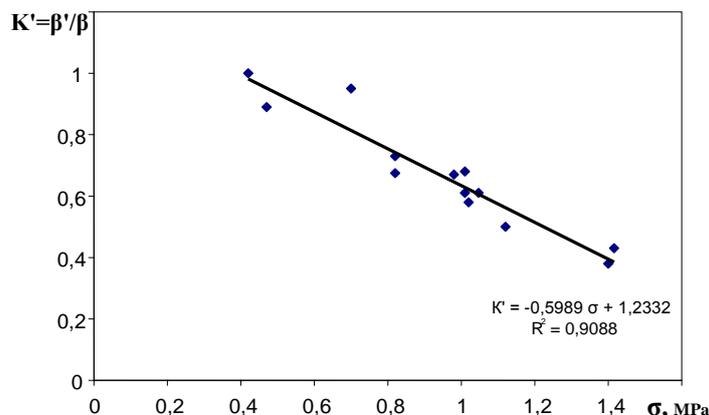


Рис. 1. Зависимость редуцированной усушки от напряжений (ясень, тангенциальное направление, $t=80\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Как известно, экспериментальная зависимость усушки от влажности имеет криволинейный характер. Можно выделить три диапазона изменения коэффициента

усушки в зависимости от диапазона текущей влажности (рис. 2). В диапазоне высокой влажности образца зависимости редуцированной усушки от влажности имеют более пологий вид. При этом с увеличением нагрузки крутизна зависимости уменьшается по сравнению с тем же диапазоном влажности свободной усушки. На среднем диапазоне влажности различия в углах наклона рассматриваемых зависимостей уменьшаются. В диапазоне малой влажности углы наклона зависимости свободной и редуцированных усушек практически совпадают.

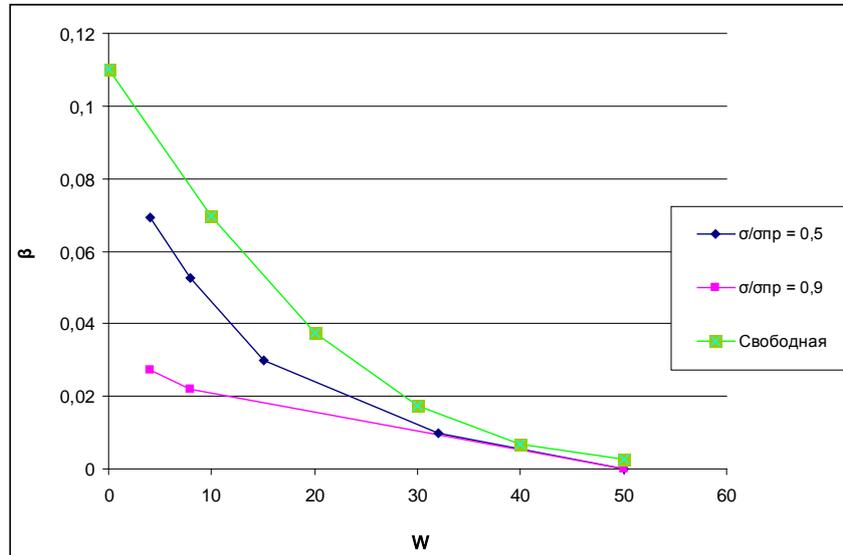


Рис. 2. Зависимость усушки древесины от влажности

Серия опытов выполнялась при двух уровнях нагрузки (0,78 МПа и 1,7 МПа). При этом снимались показания деформации образца во времени и текущая влажность древесины.

Криволинейные зависимости были аппроксимированы ломаными прямыми, на рис. 3 показана зависимость степени редуцирования усушки от влажности.

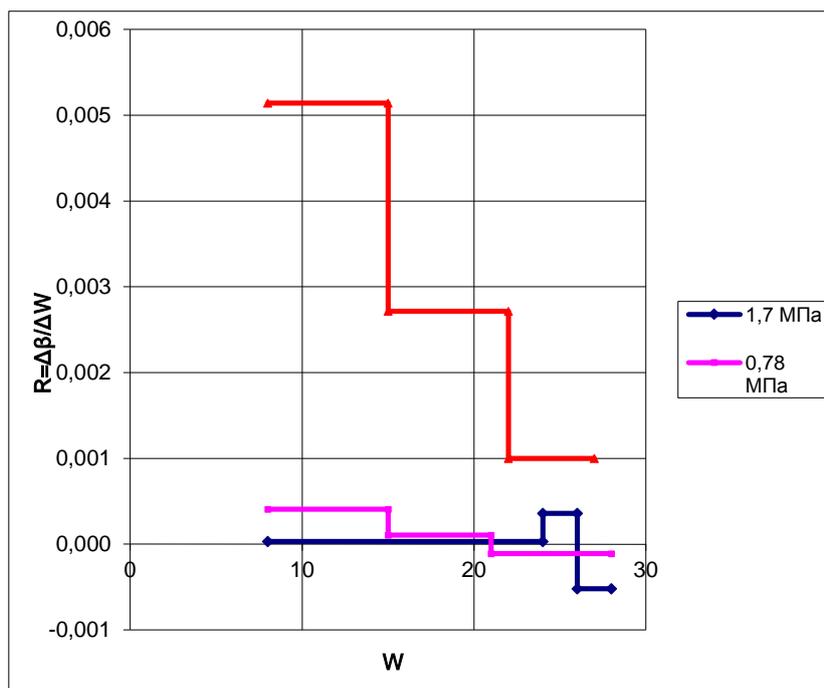


Рис. 3. Зависимость степени редуцирования от диапазона влажности

При свободной усушке степень редуцирования равна единице. При достаточно большой нагрузке и малом падении влажности от предела насыщения клеточных стенок удлинение образца становится больше, чем сама усушка. В области, близкой к пределу прочности, показания становятся ненадежными, поскольку начинается разрушение.

Таким образом, для уточнения расчетов напряженного состояния следует учитывать диапазон, в котором происходит изменение влажности, а также величину нагрузки.

Исследования выполнены в лаборатории Центра коллективного пользования научным оборудованием «Центр физико-механических испытаний древесины» (ЦКП ЦФМИД) НОЦ «Нанотехнологии в лесном комплексе» ФГБОУ ВО МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, проект № 37.8809.2017/БЧ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Галкин В.П., Калинина А.А., Санаев В.Г. Оценка влияния сушильных напряжений на изменение коэффициента усушки // Современные проблемы биологического и технического лесоведения. Сб. трудов I Междунар. науч.-практ. конференции. 2016. С. 54–59.
2. Галкин В.П., Санаев В.Г., Уголев Б.Н., Калинина А.А. Влияние растягивающих напряжений на изменение величины усушки // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2016. Т. 20. № 4. С. 4–9.
3. Галкин В.П., Уголев Б.Н., Лапшин Ю.Г., Артельщиков В.И., Галкин Д.В., Курьшов Г.Н. Устройство для камерной сушки влагосодержащих материалов. Пат. на полезную модель RUS 83600 25.11.2008.
4. Горбачева Г.А., Санаев В.Г., Белковский С.Ю., Пастори З. Изменение молекулярно-топологического строения древесины дуба при проявлении эффекта памяти формы // Лесной вестник. Forestry Bulletin. 2017. Т. 21. № 4. С. 36–41.
5. Калинина А.А., Галкин В.П., Санаев В.Г. Влияние внутренних напряжений на изменение коэффициента усушки // Современные проблемы биологического и технического лесоведения. Сб. трудов I Междунар. науч.-практ. конференции. 2016. С. 50–54.
6. Санаев В.Г., Уголев Б.Н., Галкин В.П., Калинина А.А., Аксенов П.А. Изменение усушки древесины при развитии сушильных напряжений // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2015. Т. 19. № 1. С. 54–58.
7. Уголев Б.Н., Галкин В.П., Горбачева Г.А., Калинина А.А., Белковский С.Ю. Экспериментальные исследования влияния наноструктурных изменений древесины на ее деформативность // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2012. № 7 (90). С. 124–126.
8. Уголев Б.Н., Галкин В.П., Калинина А.А. Исследование влияния уровня нагрузки и влажности на величину замороженной усушки древесины // Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса. Матер. междунар. науч.-техн. конференции, посвященной 50-летию кафедры механической технологии древесины ФГБОУ ВПО КГТУ. Администрация Костромской области, Департамент образования и науки, Международная академия наук о древесине (ИАВС), Региональный координационный совет по современным проблемам лесоведения, ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса», ФГБОУ ВПО «Костромской государственный технологический университет». 2012. С. 42.
9. Уголев Б.Н., Горбачева Г.А., Белковский С.Ю. Многоформный эффект памяти древесины // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2014. № 2 (101). С. 62–66.
10. Уголев Б.Н., Горбачева Г.А., Калинина А.А., Смирнов Д.В. Исследование деформационных превращений поперек волокон древесины кольцесосудистых пород // Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса. Сб. науч. трудов III Междунар. науч.-техн. конференции. ФГБОУ ВПО «Костромской государственный технологический

университет». 2015. С. 32–34.
11. *Ugolev B.N., Skuratov N.V., Gorbacheva G.A.* On differential wood shrinkage coefficient. *Drevarsky Vyskum*. 1998. Т. 43. № 3–4. С. 1–11.

COEFFICIENTS OF WOOD SHRINKAGE UNDER THE TENSILE LOADING

A.A. KALININA, V.P. GALKIN, V.G. SANAEV

Mytishchi branch of MSTU named after N.E. Bauman, Mytishchi, Russia (kalinina@mgul.ac.ru, vgalkin@mgul.ac.ru, rector@mgul.ac.ru)

The drying stresses are proportional to the shrinkage coefficient of the wood. The modern mathematical model of calculation of drying stresses provides a constant value of the shrinkage coefficient which independent of the stresses. Our research showed that the shrinkage under tensile stresses is reduced. Shrinkage under the tensile stresses is called reduced shrinkage and the difference between free and shrinkage under load is names frozen shrinkage. This paper presents the results of the study of the effect of tensile loading on the shrinkage coefficient depending on the moisture content of the wood. Approximation of curvilinear dependencies of wood shrinkage on moisture content by polygonal lines takes into account the influence of the frozen shrinkage on the calculation of drying stresses.

ОЦЕНКА КОЛИЧЕСТВА И КАЧЕСТВА ДРЕВЕСИНЫ ЕСТЕСТВЕННОГО ОТПАДА

С.П. КАРПАЧЕВ¹, Р.И. ДИЕВ²

¹ Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Мытищи, Россия (karpachevs@mail.ru)

² Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Мытищи, Россия (rdiev@yandex.ru)

В настоящей статье представлены результаты оценки объема древесины естественного отпада методом линейных пересечений.

Под естественным отпадом понимают целые стволы деревьев и их части, сучья и ветки, находящиеся на земле, в лесу, в результате естественной гибели деревьев (рис. 1).



Рис. 1. Захламленность леса в виде упавших стволов усохших деревьев (фото автора)

Метод линейных пересечений показал свою эффективность при количественной оценке лесосечных отходов [1, 2]. Этот метод хорошо подходит для оценки лежащих на земле стволов деревьев и их кусков, какой и является древесина естественного отпада. Поэтому он и был выбран нами для оценки объема древесины естественного отпада.

Оценка древесины отпада проводилась на опытном участке в лесах Тверской

области Селижаровского района. Опытный участок леса имел размеры $L = 90$ м, $B = 40$ м. Участок разбивали на полосы. Полосы назначали вдоль длинной стороны участка (рис. 2).

Линия отбора была принята длиной $l_{отб} = 20$ м. Ширину полосы назначали равной длине линии отбора $l = B_{я} = 20$ м. Всего было разбито две полосы. Длину полосы $L_{я}$ принимали равной длине стороны участка $L_{я} = L$.

На опытном участке линии отбора разбивались парами. Направление первой линии в паре определялось углом ориентации α , который задавался по равномерному закону с пределами варьирования $0 \leq \alpha \leq \pi/2$. Вторая линия в паре являлась продолжением первой и проводилась под углом $\pi/2$ к первой линии, так, чтобы конец второй линии возвращался на линию полосы, как показано на рис. 2. Это позволяло сократить время на перемещение учетчика до минимума.

Начало и конец линий отбора на участке фиксировались вешками.

Технология полевых работ была следующей:

1. Учетчик двигался по линиям отбора (рис. 2). Учет валежа, крупных сучьев и другой древесины проверялся визуально по факту пересечения их с линиями отбора. Учитывалась только древесина диаметром более 4 см в комле.

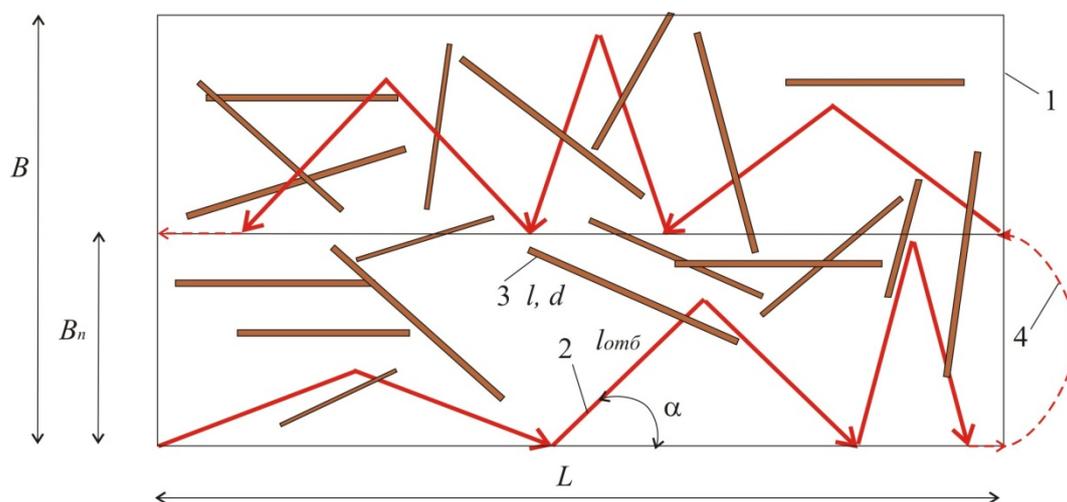


Рис. 2. Схема учета древесины отпада на опытном участке методом линейных пересечений:
1 – границы участка; 2 – линии отбора; 3 – куски стволовой древесины естественного отпада;
4 – линия движения учетчика

2. В журнал учета для каждого пересекшегося с линией отбора куска древесины мерной вилкой фиксировался его диаметр в месте пересечения (рис. 3), а также его длина путем обмера рулеткой (рис. 4).

3. Для каждого пересеченного линией отбора куска древесины определялся его объем по формуле:

$$v_i = \pi \cdot l_i \cdot \frac{d_{неp.i}^2}{4}, \quad (1)$$

где $d_{неp.i}$ – диаметр куска древесины в месте пересечения с i -й линией отбора;
 l_i – длина куска древесины отпада, пересеченного i -й линией отбора.

4. По результатам учета определялось среднее число пересечений кусков с линией отбора по формуле:

$$n_{\text{пер.ср.}} = \frac{\sum_{i=1}^n n_{\text{пер.}i}}{n}, \quad (2)$$

где $n_{\text{пер.}i}$ – число пересечений кусков древесины с i -й линией отбора;
 n – число линий отбора.



Рис. 3. Измерение диаметра куска древесины отпада в месте пересечения его с линией отбора (фото автора)



Рис. 4. Измерение длины куска древесины отпада, пересеченного линией отбора (фото автора)

5. Объем древесины отпада на участке оценивался по формуле:

$$V_{\text{оценка}} = \frac{1}{p} \cdot \left(\frac{\sum_{j=1}^k v_j}{n} \right), \quad (3)$$

где p – вероятность, которая рассчитывается по теоретической формуле [3]:

$$p = \frac{2 \cdot L_{\text{отб}}}{\pi \cdot 90 \cdot 40} \cdot l_{\text{ср}}. \quad (4)$$

6. Объем древесины в пересчете на 1 га определялся по формуле:

$$V_{за} = \frac{V_{оценка}}{S} \cdot 10000, \quad (5)$$

где S – площадь участка, м².

7. Истинный объем древесины на участке определялся по результатам сплошного учета отпада.

8. Объем древесины отпада на участке, оцененный по формуле (3), сравнивался с истинным объемом древесины отпада; определялась ошибка в %:

$$Ошибка, \% = \frac{V_{оценка} - V_{истинный}}{V_{оценка}} \cdot 100, \% . \quad (6)$$

В результате проведенных натурных опытов по оценке объема древесины отпада методом линейных пересечений в лесах Тверской области было установлено, что расхождение между истинным значением объема древесины отпада ($V_{истинное} = 22,90$ м³) и его оценкой ($V_{оценка} = 24,77$ м³) при уровне значимости 5 % и точности 20 % составило 7,6 %, что можно считать хорошим результатом.

Данные об объемах древесины отпада, полученные методом линейных пересечений, могут быть основой для разработки технологии очистки захламленных лесов [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Karpachev S.P., Zaprudnov V.I., Bykovskiy M.A., Scherbakov E.N.* Quantitative Estimation of Logging Residues by Line-Intersect Method // *Croatian journal of forest engineering*. 38 (2017). 1. P. 33–45.
2. *Карпачев С.П., Щербаков Е.Н.* Экспериментальные исследования количественной оценки лесосечных отходов методом линейных пересечений // *Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник*. 2013. № 1. С. 179–184.
3. *Карпачев С.П., Щербаков Е.Н.* Статистическая оценка количества и качества скоплений древесины, образующихся на лесных участках и в водоемах (монография). М.: ФГБОУ ВПО МГУЛ, 2013. 132 с.
4. *Карпачев С.П., Диев Р.И.* Моделирование технологического процесса уборки захламленности леса портативной лебедкой // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*. 2017. Т. 22. № 4. С. 10–13. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-2-95-100.

ASSESSMENT OF THE QUANTITY AND QUALITY OF WOOD TO NATURAL MORTALITY

S.P. KARPACHEV¹, R.I. DIEV²

¹ Mytishchi branch of MSTU named after N.E. Bauman, Mytishchi, Russia (karpachevs@mail.ru)

² Mytishchi branch of MSTU named after N.E. Bauman, Mytishchi, Russia (rdiev@yandex.ru)

This article presents the results of estimating the volume of natural decay wood by the method of linear intersections.

As a result of field experiments for estimation of wood volume of mortality by the method of linear intersection in the forest it was found that difference between the true value of the volume of timber mortality (22,90 м³) and its evaluation (24,77 м³) at a significance level of 5 % and precision of 20 % was 7,6 %, which can be considered a good result.

ОСОБЕННОСТИ РОСТА ПО ДИАМЕТРУ СТВОЛОВ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ КРАСНОЯРСКА

Ю.В. КЛАДЬКО, В.Е. БЕНЬКОВА, Л.Н. СКРИПАЛЬЩИКОВА

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (KladaJ@mail.ru)

Зеленые насаждения крупных городов выполняют важные средообразующие, санитарно-гигиенические и декоративно-планировочные функции. Актуально и важно своевременно принимать меры по улучшению зеленых насаждений для того, чтобы повысить качество жизни горожан. Для этого необходимо решить задачи выделения пород, обладающих высокой устойчивостью к антропогенному воздействию, для оптимизации их использования в озеленении.

Цель настоящей работы – выявить особенности изменения во времени диаметра стволов растений древесных видов, часто встречающихся в озеленении г. Красноярск и произрастающих в районах города с разным уровнем загрязнения атмосферного воздуха.

В качестве объектов исследования были выбраны 5 видов древесных растений: *Pinus sylvestris* L. (сосна обыкновенная), *Picea pungens* Engelm. (ель колючая), *Betula pendula* Roth (береза повислая), *Ulmus pumila* L. (вяз приземистый), *Populus balsamifera* L. (тополь бальзамический).

Исследование проводили в крупном промышленном центре, Красноярске (56°00'43" с. ш., 92°52'17" в. д.), характеризующемся очень высоким уровнем загрязнения атмосферного воздуха (ИЗА>14) и высокой долей проб почвы селитебной зоны, не отвечающих гигиеническим требованиям по санитарно-химическим показателям (36,3 %) [1]. Пробные площадки (пп) были выделены в районах с высоким уровнем загрязнения (пп «Центр», «КрАЗ», «КрасТЭЦ») и в условно чистых (пп «Ветлужанка» и «Академгородок») [2, 3]. В качестве фона был выбран сосняк в 165 км от города по Енисейскому тракту (пп «165 км Енисейского тракта»). На пробных площадках было отобрано по 10 моделей перечисленных видов (за исключением сосны обыкновенной, которая исследована на пп «Академгородок» и на пп «165 км Енисейского тракта»). В пределах одной пп представители одного и того же вида по визуальной оценке имели приблизительно одинаковые лесоводственно-таксационные характеристики. Датировку и измерение ширины годичных колец по кернам, взятым из стволов моделей, проводили с использованием установки LINTAB-V 3.0 с точностью 0,01 мм. Последовательным суммированием значений ширины годичных колец (на высоте 1,3 м) были получены ежегодные значения диаметра ствола растений, которые были усреднены по моделям с получением ежегодного среднего диаметра каждого исследованного вида на каждой пп.

У сосны обыкновенной, произрастающей на пп «Академгородок», рост высокой интенсивности продолжался до 17-летнего возраста (рис. 1а), после чего наблюдается ее снижение. На пп «165 км Енисейского тракта» ход роста моделей может быть охарактеризован двумя усредненными кривыми: для деревьев, начало онтогенеза которых датируется периодом 1863–1923 гг., и для деревьев с началом роста после 1980 года. При этом у более молодых экземпляров скорость роста по диаметру больше и примерно равна скорости роста сосны обыкновенной на пп «Академгородок». Установлено, что у этого древостоя в 25-летнем возрасте (в конце XIX – начале XX века) интенсивность радиального роста была существенно меньше, чем у деревьев того же возраста в конце 1990-х – начале 2000-х годов. Это привело к тому, что радиус молодых деревьев в прошлом был в 3,2 раза меньше, чем у одновозрастных деревьев, растущих в настоящее время (25 мм и 80 мм соответственно) (рис. 1а). Выявленное

различие может быть результатом того, что в конце XIX – начале XX века климат был более холодный, чем в настоящее время. Антропогенное воздействие на данном участке незначительно, поэтому маловероятно его влияние на динамику роста.

У ели колючей в посадках на всех пп кривые хода роста линейные, за исключением пп «КрасТЭЦ», где кривая более похожа на S-образную (рис. 1б). Наибольший прирост в абсолютных значениях в возрасте 15–20 лет роста отмечен на пп «Академгородок» и «Ветлужанка». На загрязненных пп («КрАЗ», «Центр», «КрасТЭЦ») в этом же возрасте у деревьев отмечен меньший прирост по диаметру, при этом выделен период угнетения роста у экземпляров в первые годы жизни. На пп «КрасТЭЦ» период угнетенного роста после 15-летнего возраста сменился фазой достаточно интенсивного роста. Напротив, на пп «КрАЗ» и «Центр» угнетение роста по диаметру наблюдается на протяжении всего исследованного периода, что может быть результатом негативного влияния техногенного загрязнения. На пп «КрасТЭЦ» возрастание интенсивности прироста деревьев по диаметру приходится на конец 1990-х гг., когда ряд промышленных предприятий, расположенных в непосредственной близости, прекратили свою деятельность.

У березы повислой на пп «Академгородок», «Центр» и «КрАЗ» ходы роста по диаметру отличаются: в 20-летнем возрасте наибольший диаметр достигнут на условно чистой пп «Академгородок», а наименьший – на территории с высокой степенью техногенного загрязнения пп «КрАЗ» (рис. 1в). Насаждения на пп «Ветлужанка» естественного происхождения. По нашим наблюдениям, данный объект является загущенным. Низкий относительно равномерный прирост по диаметру у экземпляров здесь на протяжении всего периода роста может быть следствием отрицательного влияния ценологических условий. На пп «КрасТЭЦ» экземпляры делятся на две группы по ходу роста. У более старших растений (посадки 1960-х гг.), образующих первую группу, наблюдается длительный период остановки роста по диаметру с 10-летнего до 30-летнего возраста, сменяющийся интенсивным ростом. Отсутствие роста деревьев, вероятно, связано с воздействием факторов неустановленной природы. Резкое увеличение интенсивности роста по диаметру впоследствии может быть результатом снижения объемов выбросов промышленных предприятий. Более молодые экземпляры, образующие вторую группу, характеризуются интенсивным ростом; скорость роста за тот же период времени у них существенно выше, чем у растений первой группы.

Молодые деревья вяза мелколистного (рис. 1г) характеризуются интенсивным ростом на пп «Ветлужанка» и «КрАЗ»; однако на пп «КрАЗ» период интенсивного роста быстро сменился его снижением. Здесь положительный эффект от агротехнических мер при пересадке (полив, подкормка) и хорошего состояния посадочного материала быстро нивелировался (через 4 года) негативным влиянием аэротехногенного загрязнения. На пп «Центр» и «КрасТЭЦ» с высоким уровнем загрязнения интенсивность роста у деревьев в том же возрасте была значительно меньше. У старовозрастных моделей в 13-летнем возрасте была низкая интенсивность роста, которая впоследствии увеличилась. Более молодые деревья сохраняют относительно высокую скорость роста до конца периода наблюдений, совпадающую со скоростью роста вяза мелколистного на загрязненной пп «КрасТЭЦ». Возможно, последние оказались более чувствительными к загрязнению от транспорта, количество которого в последние годы резко увеличилось.

Ход роста по диаметру тополя бальзамического на всех пп, кроме пп «КрасТЭЦ», имеет линейный характер (рис. 1е). Более интенсивный рост у растений на пп «Центр», что по сравнению с другими пп может говорить о положительном эффекте от агротехнических приемов ухода за саженцами (полив, подкормка). На сильно загрязненных пп «КрАЗ» и «КрасТЭЦ» отмечен период очень низкой скорости роста

после пересадки, который длился до 7-летнего возраста (начальный участок S-образной кривой). На более чистых пп «Академгородок» и «Ветлужанка» его нет.

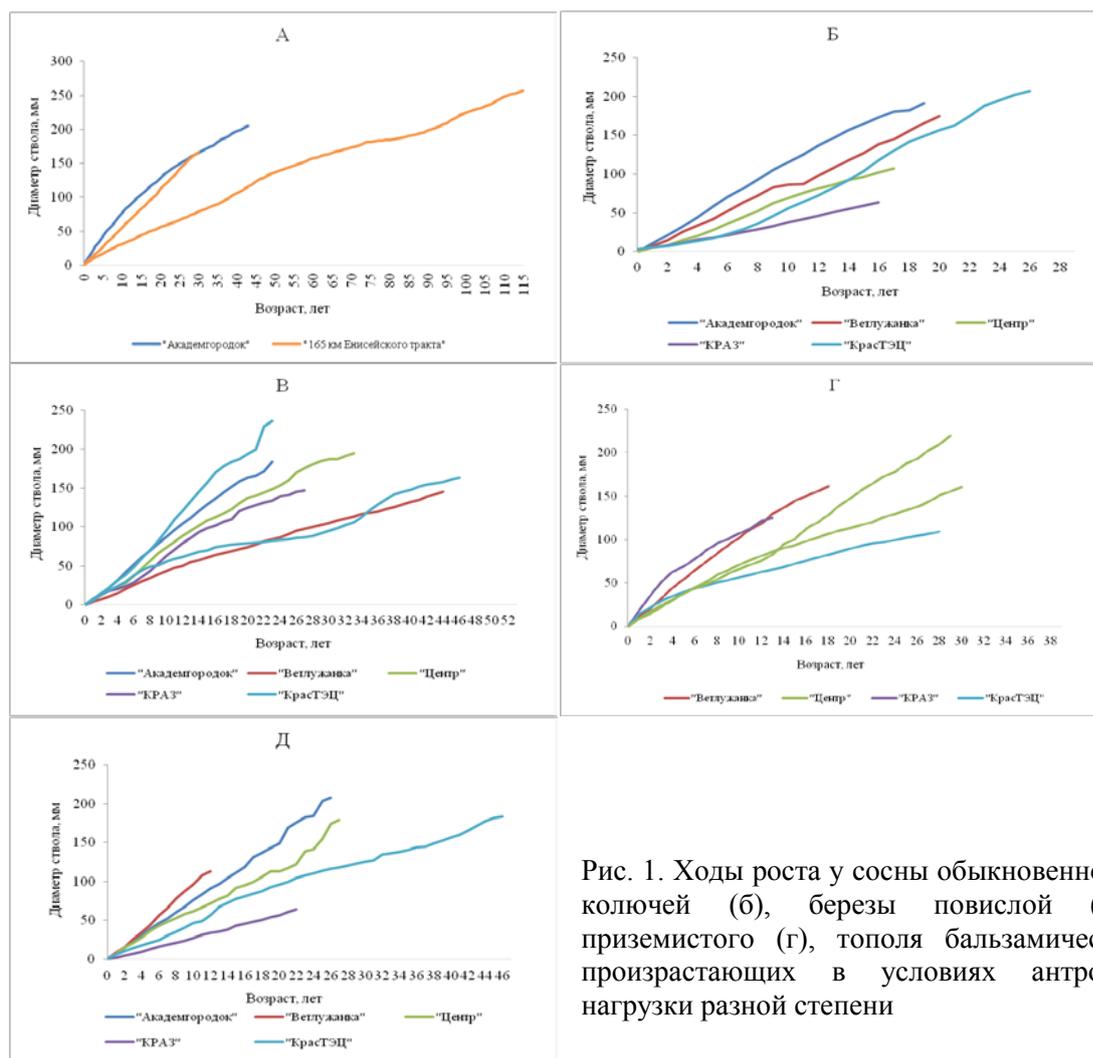


Рис. 1. Ходы роста у сосны обыкновенной (а), ели колючей (б), березы повислой (в), вяза приземистого (г), тополя бальзамического (д), произрастающих в условиях антропогенной нагрузки разной степени

В результате проведенных исследований впервые в условиях Красноярска были получены и проанализированы ходы роста по диаметру стволов у сосны обыкновенной, ели колючей, березы повислой, вяза приземистого.

Выявлено, что кривые хода роста по диаметру делятся по форме на классическую S-образную форму (ее части) и линейную. Кривые хода роста подтверждают, что наиболее адаптирован к антропогенным условиям Красноярска тополь бальзамический, а наименее – вяз приземистый.

Авторы признательны доктору биологических наук, профессору П.П. Силкину за ценные советы и консультации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2016 году». Красноярск, 2017. 289 с.
2. Скрипальщикова Л.Н., Татаринцев А.И., Зубарева О.Н., Перевозникова В.Д., Стасова В.В., Грешилова Н.В. Экологическое состояние пригородных лесов Красноярска. Новосибирск: Академ. изд-во «Гео», 2009. 179 с.
3. Хлебопрос Р.Г., Тасейко О.В., Иванова Ю.Д., Михайлюта С.В. Красноярск. Экологические очерки: монография. Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2012. 130 с.

PECULIARITIES OF GROWTH IN DIAMETER OF THE TREES OF ROSACEAE IN ANTHROPOGENICALLY AFFECTED SITES OF KRASNOYARSK

Y.V. KLADKO, V.E. BENKOVA, L.N. SKRIPALSHCHIKOVA

V.N. Sukachev Institute of Forest SBRAS, Krasnoyarsk, Russia (KladaJ@mail.ru)

Dynamics of the growth of the stems of plants growing in technologically changed territories of Krasnoyarsk has been studied. Green plantations of large cities play important environment-forming, sanitary-hygienic and decorative-planning functions. It is urgent to take to improve green spaces timely measures better investigations and for to make quality of life of citizens. For this, it is necessary to solve the problems of optimization and expansion of the assortment of woody plants, which have high resistance to anthropogenic impact. As the objects of research, 5 woody species frequently used in planting within Krasnoyarsk were taken for the study: *Pinus sylvestris* L., *Picea pungens* Engelm., *Betula pendula* Roth, *Ulmus pumila* L., *Populus balsamifera* L. The reconstruction of the increase in the average diameter (at breast height) of the trunk of model trees during the entire period of ontogenesis was carried out. Analysis of changes in the diameters of specimens in time revealed that the growth curves in form are divided into some varieties: the classical S-form, its parts (increasing and dropping), linear. It was revealed that is poplar balsamic the best adapting to the anthropogenic conditions of Krasnoyarsk, and the least one siberian elm. Based in the peculiarity of growth dynamics of the stems preliminary recommendations of the species studied application in greening in the conditions of the city of Krasnoyarsk were formulated.

ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЖИВЫХ ДЕРЕВЬЯХ

Н.В. КЛАССЕН^{1,2}, А.А. КУДИНОВА³, Г.А. ГОРБАЧЕВА², В.Г. САНАЕВ²

¹ Институт физики твердого тела РАН, Черноголовка, Россия (klassen@issp.ac.ru)

² Мытищинский филиал МГТУ им. Баумана, Мытищи, Россия (gorbacheva-g@yandex.ru)

³ Физико-математический лицей, Сергиев Посад, Россия (annushku@gmail.com)

Растения – лидеры среди земных объектов с точки зрения суммарных стажа и объема использования их человечеством в качестве источников пищи, топлива, строительных, конструкционных, биомедицинских материалов. Тем не менее появившиеся в последние десятилетия публикации и наши собственные исследования показывают, что до сих пор в понимании физических и химических процессов как на электронно-атомарном уровне внутри растений, так и в их взаимодействиях с внешней средой остается много вопросов. Исследования в этих направлениях актуальны не только для получения новых знаний о материальном мире, но и для решения задач энергетики, экологии, биомедицины.

Известно много фактов высокой электрической активности как растений в целом, так и их отдельных компонентов. Обработка растений переменными электромагнитными полями небольших амплитуд в широком диапазоне частот (от звуковых до СВЧ) заметно влияет и на скорость их роста, и на внутреннюю морфологию (толщина клеточных стенок и др.) [1]. По мнению авторов, полученные эффекты связаны с резонансными воздействиями электрического поля на внутренние химические реакции и миграцию получаемых при этом носителей заряда и свободных радикалов. В частности, при фотосинтезе в тилакоидных мембранах происходит разделение положительных и отрицательных зарядов (с наружной стороны мембраны – вынесенные туда отрицательные электроны, с внутренней – оставшиеся протоны) [2].

За счет этого переменное электрическое поле вызывает деформацию мембраны, что так или иначе влияет на процесс фотосинтеза. Целлюлоза, составляющая основу клеточных стенок и древесных, и зеленых тканей, – один из самых сильных природных пьезоэлектриков [3]. Поэтому электрическое поле вызывает деформацию клеточных стенок и других компонентов растений и, наоборот, деформация растений приводит к появлению электрического поля. Как и в неорганических пьезоэлектриках, взаимосвязь деформаций и электрических полей должна обеспечивать в растениях предпосылки для генерации электромеханических волн при разного рода внешних воздействиях – ветровых колебаниях стволов, ветвей, листьев, а также создании внутренних электрических полей в листьях при освещении, акустических вибрациях и т. д. Генерация электромеханических волн, осцилляции деформаций и электрических потенциалов при механических, электрических и световых воздействиях на растения были обнаружены в наших начальных экспериментах [4]. Данная работа посвящена более детальному изучению этих явлений, а также роли электромеханических процессов в жизнедеятельности деревьев и возможностей их использования для решения задач энергетики, экологии, биомедицины.

Мы установили, что еще один важный фактор резонансной электрической активности участвующих в питании и синтезе мягких тканей деревьев – высокая диэлектрическая поляризуемость водных растворов, обычно составляющих более половины их объема. Молекулы воды, являющиеся сильными электрическим диполями, притягиваются к наноконпонентам растворов за счет диполь-дипольных, водородных и других связей, образуя гидратную оболочку из закрепленных молекул, у которых ориентационная поляризуемость выключена фиксацией их положения в пространстве. По этой причине на границе гидратной оболочки и свободной воды в электрическом поле формируется поляризационный диполь с обращенным к источнику поля зарядом того же знака, что и заряд источника. В результате противоположно заряженные наноконпоненты водной суспензии, которые в обычном растворителе должны бы соединиться под действием кулоновского притяжения, в воде, приблизившись на некоторое расстояние, начинают отталкиваться. Возникает связанная пара наночастиц, по поведению в переменном электрическом поле похожая на молекулу, но с многократно увеличенными массами составляющих «атомов» и равновесными расстояниями между ними. В итоге резонансные частоты такого рода «супермолекул» от обычных молекулярных терагерц снижаются до звукового диапазона от единиц до тысяч герц (в зависимости от заряда и массы наноконпонентов). Таким образом, влияние электрических процессов на жизнедеятельность деревьев усиливается, по крайней мере, тремя видами резонансов: электромеханических колебаний тилакоидных мембран с зарядами противоположных знаков на внешней и внутренней сторонах, электромеханических колебаний клеточных стенок зеленых тканей и капиллярных стенок за счет пьезоэлектричества формирующей их целлюлозы, квазимолекулярных колебаний пар противоположно заряженных наночастиц в водных суспензиях.

Эксперименты по изучению указанных электромеханических процессов производились на живых комнатных растениях, свежесрезанных ветках черемухи, березы, клена, стеблях крапивы, листьях этих растений. Электрорезонансные процессы моделировались в водных наносуспензиях, где наноконпонентами служили биополимеры ДНК, хитозана, коллагена и неорганические наночастицы двуокиси кремния, титанатов свинца и бария. К таким наносуспензиям, налитым тонким слоем на предметное стекло оптического микроскопа, от звукового электрогенератора прикладывалось электрическое поле амплитудой порядка 100 в/см с частотой, регулируемой в диапазоне от 5 до 500 гц. Видеокамерой с временным разрешением

0,02 сек. записывались изменения морфологии суспензии в функции от частоты поля. На некоторых частотах, зависящих от типа суспензии, в узком частотном интервале наблюдались скачкообразные изменения морфологии. Неожиданным оказался факт синхронного переключения морфологий агломератов суспензий, расположенных друг от друга на расстояниях существенно больших, чем размеры самих агломератов. На рис. 1 показан пример с изменениями морфологии агломератов из молекул хитозана и наночастиц двуокиси кремния. С помощью микроскопа регистрировались два разных состояния: оптически однородное и неоднородное. Частота изменялась ступенчато через 0,5 Гц. Наблюдение на каждой частоте производилось не меньше чем минуту. В диапазоне от 5 до 21 Гц заметных изменений не наблюдалось.

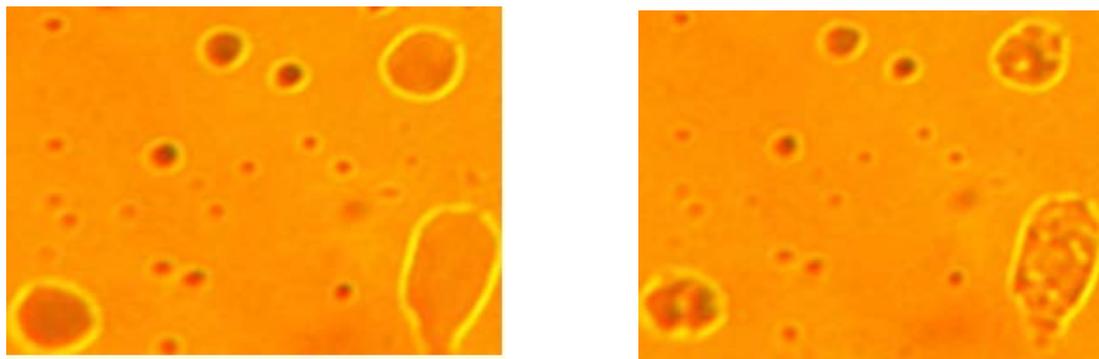


Рис. 1. Оптическая микроскопия (на просвет) водной суспензии с агломератами из молекул хитозана и наночастиц двуокиси кремния. Слева все агломераты в однородном состоянии. Справа все они с синхронностью в 0,02 сек. переключились в неоднородное состояние. Затем синхронные переключения продолжались столько, сколько на суспензию действовало внешнее резонансное поле

Но на частоте 22,5 Гц возникли скачкообразные переключения морфологии агломератов от однородного к неоднородному типу и обратно. Наиболее существенным в этих переключениях является их одновременность в удаленных друг от друга агломератах с точностью 0,2 секунды при интервале между соседними переключениями порядка 5 секунд. При дальнейшем увеличении частоты переключения прекратились. Эти эксперименты указывают на два фактора: резонансность переключений и их одновременность. Природа резонансов в водных суспензиях обсуждалась выше. А синхронность переключений указывает на работу некоего механизма быстрой связи между агломератами аналогичных составов. Например, через акустические, электрические или акустоэлектрические поля, излучаемые на резонансной частоте агломератом, начавшим переход, и тут же принятые другими агломератами благодаря совпадению резонансных частот. Это дополнительное поле, добавляясь к синфазному с ним внешнему полю, дает превышение порога перехода и, соответственно, запускает его в других агломератах, получивших сигнал о переходе от начального источника. Данный эксперимент выявляет важный компонент дальнедействующей скоростной коммуникации между биообъектами одной природы. Она может работать между отдельными органеллами, целыми клетками, их группировками, листьями и другими фрагментами растений, целыми растениями (в том числе крупными деревьями) и т. д. Наглядное следствие такой коммуникации – обнаружение осцилляций электрического тока, возбуждаемых в зеленых листьях светом. К листу фикуса были прикреплены два электрода от мультиметра, включенного на измерение сопротивления. Когда межэлектродную область листа освещали красным лазером мощностью 5 МВт, мультиметр стал показывать сильные осцилляции сопротивления с монотонным падением до минимума

и возвратом к максимуму (рис. 2). Минимум сопротивления соответствует максимуму фототока в листе параллельно внешнему полю, максимум сопротивления – максимуму фототока навстречу внешнему полю.

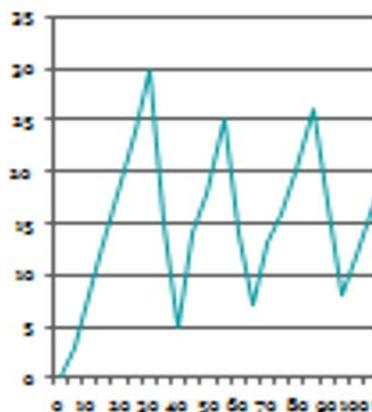


Рис. 2. Осцилляции электросопротивления и фототока в листе фикуса при освещении его красным лазером 5 МВт

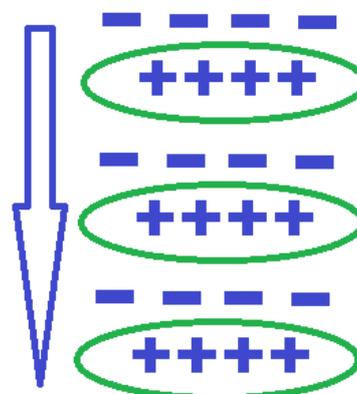


Рис. 3. Схема формирования при освещении листа электрически поляризованных хлоропластов, синхронные развороты которых вызывают квазипериодические осцилляции фототока

Квазипериодические осцилляции фототока объясняются синхронизированными разворотами большого количества хлоропластов, электрически поляризуемых преимущественным выносом электронов в тилакоидах на внешние стороны мембран, обращенные к световому потоку. При накоплении отрицательных зарядов на обращенных к свету сторонах тилакоидов всех хлоропластов (на рис. 3 – верхних) равновесные ориентации внутренних хлоропластов оказываются неустойчивыми, и они начинают развороты положительными зарядами вверх, что в конечном итоге приводит к развороту всей системы хлоропластов. Максимумы и минимумы сопротивления на рис. 2 соответствуют моментам, когда в секунду разворачивается максимальное число хлоропластов. Разворот каждого отдельно взятого хлоропласта происходит скачком, и при этом излучается поле, индуцирующее разворот соседних хлоропластов не только данной клетки, но и всего листа, пусть и расположенных значительно дальше.

Следует подчеркнуть, что осцилляции электрических параметров наблюдались при лазерном освещении листа не только внутри него, но и на поддерживающем его стебле в зоне, расположенной в нескольких сантиметрах от листа. Это указывает на дальнедействующий характер переменных электрических полей, возникающих при синхронизированных разворотах хлоропластов. Аналогичная синхронизация дальнедействующих полей наблюдается и при деформациях листьев, когда вызванные ими изменения потенциалов амплитудой в сотни милливольт наблюдаются на стебле более чем в десяти сантиметрах от зоны деформирования.

Столь отдаленные сигналы о деформировании листьев можно объяснить двумя процессами: распространением электрического поля от листа по воздуху и движением электромеханической волны по стеблю. Второй процесс электромеханической волны представляется более эффективным для больших расстояний по стеблю, так как в этом случае энергия поля не рассеивается, а идет по стеблю как по волноводу. Зато первый процесс передачи через излучаемое поле будет более эффективным для густой листвы, поскольку в этом случае поле, излучаемое в любую сторону, будет встречено резонансными с ним приемниками в виде таких же листьев.

Распространение электромеханических волн наблюдалось нами непосредственно,

когда один конец древесной ветки подвергался воздействию электрического или механического импульса, а на другом конце (удаленном на 50 см и более) регистрировались электрические и акустические сигналы большой амплитуды.

Таким образом, механические, электрические и световые воздействия на ветви и листья живых растений вызывают в них реакции в виде электромеханических волн и электрических колебаний, которые являются скоррелированными во времени внутри больших коллективов ветвей и листьев, занимающих протяженные в пространстве области. За счет этих корреляций амплитуды реакций на внешние воздействия существенно возрастают, заметным образом регулируя жизнедеятельность данного растения или даже группы близко расположенных растений. Обмен информацией между удаленными зонами одного растения или разными растениями производится путем обмена электрическими и акустическими сигналами на общих резонансных частотах.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, проект № 37.8809.2017/БЧ «Исследование строения, свойств и характеристик древесины как природного функционального материала для разработки энергосберегающих и экологических технологий продукции с заданными механическими, электрическими, химическими и тепловыми характеристиками» и частичной поддержке РФФИ, проект № 16-29-11702.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Yakimenko I., Henshel D., Kyrylenko O., et al.* Biological activity of low-intensity radiofrequency radiation // *Electromagn. Biol. Med.* 2015. 1–16.
2. *Беляева О.В.* Светозависимый синтез хлорофилла. М.: Бином, 2015. 235 с.
3. *Rajala S., et al.* Cellulose nanofibril film as a piezoelectric sensor material // *ACS Appl. Mater. Interfaces.* 2016. 8 (24). Pp. 15 607–15 614.
4. *Класен Н.В., Гурин Ф.С., Кудинова А.А.* Роль фото- и пьезоэлектричества в жизнедеятельности растений: тр. конф. «Современные проблемы биологического и технического лесоведения», Йошкар-Ола, сентябрь 2016. С. 72–74.

PARTICULARITIES OF ELECTROMECHANICAL AND PHOTOELECTRICAL PROCESSES IN LIVING TREES

N.V. KLASSEN^{1,2}, A.A. KUDINOVA³, G.A. GORBACHEVA², V.G. SANAEV²

¹ Institute of Solid State Physics RAS, Chernogolovka, Russia (klassen@issp.ac.ru)

² Mytischki Branch Bauman MSTU, Mytischki, Russia (gorbacheva-g@yandex.ru)

³ Lyceum on Physics and Mathematics, Sergiev Posad, Russia (annushku@gmail.com)

We found experimentally that living plants generate low frequency electrical and acoustical oscillations being subjected to mechanical, electrical or optical treatments. These yields of plants are long-ranged, i.e. they propagate along the plant branches for several tens of centimeters from the point of the treatment. We ascribe these long ranged yields to generation of electromechanical waves produced by interaction between mechanical deformations and electrical polarizations in leaves and branches. On the other hand due to high dielectric permittivity of water solutions the components of these solutions are bound between each other by electrostatic bonds creating low frequency resonances in these pairs. These resonances provide long range correlations and collective behavior of distant analogous bio-objects.

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСИНЫ ИНТРОДУЦЕНТОВ, ПРОИЗРАСТАЮЩИХ В БЕЛАРУСИ, И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ПЛАНТАЦИОННОГО ВЫРАЩИВАНИЯ

Д.В. КОЗЕКА, В.Б. ЗВЯГИНЦЕВ, Е.А. АРИНОВИЧ, Ю.В. ВАСЬКО

Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь
(dmitrykozeka@gmail.com)

В лесном фонде Беларуси насаждения ценных пород представлены незначительно. Основными лесообразующими видами в стране являются сосна, ель, береза, ольха черная, которые в совокупности произрастают на 93 % лесных площадей [3]. В связи с этим для загрузки производственных мощностей деревообрабатывающих предприятий Беларуси требуется импортировать древесину ценных пород, которые характеризуются высокими показателями как декоративных, так и механических свойств. Во многих странах мира эта проблема решается плантационным выращиванием лесоматериалов необходимого качества наиболее востребованных на рынке пород [5]. В Беларуси имеется опыт плантационного выращивания лишь нескольких аборигенных видов, таких как сосна обыкновенная, ель европейская, лиственница польская [4].

Нашими задачами были подбор растений-интродуцентов, способных в погодноклиматических условиях Беларуси формировать древесину с высокими декоративными и механическими свойствами, и оценка перспектив их плантационного выращивания в условиях потепления климата и потери устойчивости насаждений местных лесообразующих пород [2].

Материалы и методы. В ходе изучения древесных пород был описан внешний вид древесины, формирующейся в условиях Беларуси, определена средняя ширина годичного слоя, коэффициенты усушки и разбухания в различных направлениях, а также плотность. Диагностику вида растения проводили в облиственном состоянии. Отбор и подготовку образцов, проведение испытаний вели по стандартным методикам. Экономические расчеты проводили исходя из рыночных цен.

Результаты и обсуждение. Слива (*Prunus domestica* L). Порода заболонная, рассеянно-сосудистая. В условиях Беларуси систематически формируется ложное ядро в виде неравномерного окраса темно-алых пятен на светло-буром фоне. Древесина заболони светлая с желтоватым оттенком, занимает 4–6 годичных слоев. Годичные слои хорошо просматриваются на всех разрезах. На радиальном разрезе хорошо видны сердцевинные лучи в виде светлых блестящих полосок, которые образуют рябоватый рисунок. В совокупности ложное ядро, годичные слои и сердцевинные лучи придают древесине богатую текстуру.

Черешня (*Prunus avium* L). Порода заболонная, рассеянно-сосудистая. Однако встречается систематическое ложное ядро, окрашенное в светло-бурый цвет с коричневым оттенком. Заболонь занимает 5–10 годичных слоев. Древесина светлая с розоватым оттенком. Годичные слои хорошо просматриваются на всех разрезах благодаря темной приграничной полоске. На радиальном разрезе хорошо видны многочисленные сердцевинные лучи в виде светлых блестящих полосок немного темнее основного цвета древесины. Многочисленные сердцевинные лучи придают древесине яркую текстуру.

Облепиха (*Hippophaë rhamnoides* L). Порода ядровая, кольцесосудистая. Заболонь узкая, светло-желтого цвета, ядро светло-бурого цвета. Древесина блестящая. Годичные слои хорошо просматриваются на всех разрезах. Серцевинные лучи многочисленные, очень узкие, блестящие на радиальном разрезе. Текстура богатая.

Яблоня (*Malus domestica* L.). Порода заболонная, рассеянно-сосудистая. С возрастом появляется ложное ядро светло-бурого цвета. Древесина заболони светлая с легким оранжевым оттенком. Годичные слои хорошо просматриваются благодаря темной полоске поздней древесины. Текстуру можно охарактеризовать как имеющую среднюю выразительность.

Робиния лжеакация (*Robinia pseudoacacia* L.). Порода ядровая, кольцесосудистая. Заболонь очень узкая, занимает 2–3 годичных слоя, светло-желтая. Ядро зеленовато-бурое. Граница между заболонью и ядром резкая. Сердцевинные лучи многочисленные, узкие. На поперечном разрезе они заметны в виде узких светлых полос, на радиальном имеют вид светлых блестящих полосок, почти не отличающихся по цвету от основного фона. Текстура богатая, но несколько грубоватая из-за крупного размера анатомических элементов.

Показатели, характеризующие среднюю ширину годичных слоев, усушку, разбухание и плотность древесины изучаемых пород, представлены в табл. 1.

Хороший радиальный прирост, отраженный достаточно большой, в среднем большей, чем у местных пород, шириной годичного слоя, делает эти виды пригодными для изучения экономической целесообразности их плантационного выращивания.

Значения твердости древесины на 3 основных разрезах, прочности при статическом изгибе и прочности при сжатии вдоль волокон представлены в табл. 2.

Таблица 1. Физические свойства древесины некоторых пород в условиях Беларуси

| Порода | Средняя ширина годичного слоя, мм | Коэффициент разбухания, %/% | | | Коэффициент усушки, %/% | | | Плотность, кг/м ³ | |
|----------|-----------------------------------|-----------------------------|------|------|-------------------------|------|------|------------------------------|----------------|
| | | r | t | V | r | t | V | ρ ₀ | ρ _в |
| Слива | 4,72 | 0,19 | 0,42 | 0,64 | 0,18 | 0,37 | 0,53 | 816 | 685 |
| Черешня | 4,58 | 0,24 | 0,48 | 0,78 | 0,22 | 0,41 | 0,63 | 636 | 516 |
| Яблоня | 2,71 | 0,28 | 0,53 | 0,87 | 0,26 | 0,46 | 0,69 | 799 | 633 |
| Робиния | 5,1 | 0,22 | 0,3 | 0,55 | 0,21 | 0,27 | 0,44 | 755 | 649 |
| Облепиха | 4,63 | 0,17 | 0,37 | 0,59 | 0,16 | 0,33 | 0,5 | 665 | 565 |

Наибольшей твердостью среди изученных пород на всех разрезах отличается древесина сливы, яблони и робинии, эти же породы отличались и повышенной прочностью при сжатии вдоль волокон. Однако древесина черешни и облепихи также характеризовалась достаточно высокими механическими свойствами. Все породы по изученным механическим свойствам не уступают большинству отечественных лесообразующих видов [1].

Таблица 2. Механические свойства древесины некоторых пород в условиях Беларуси

| Порода | Статическая твердость, Н/мм ² | | | Прочность на сжатие вдоль волокон, МПа | Прочность при статическом изгибе, МПа |
|----------|--|------|------|--|---------------------------------------|
| | P | t | r | | |
| Слива | 117,0 | 81,7 | 82,4 | 69,3 | – |
| Черешня | 70,3 | 48,3 | 42,2 | 53,4 | 99,6 |
| Яблоня | 105,7 | 78,1 | 69,6 | 69,9 | – |
| Робиния | 100,9 | 76,1 | 72 | 90,3 | 166,6 |
| Облепиха | 95,7 | 47,5 | 48,8 | 64,6 | – |

Нами были учтены все возможные затраты на создание и выращивание по интенсивным технологиям лесных плантаций в условиях Беларуси с учетом особенностей роста различных пород. Для увеличения прироста и повышения качества

древесины планировалось использование подкормок, защитных мероприятий, механизированных уходов, обрезки ветвей и т. п. С учетом дисконтирования рассчитана рентабельность плантационного выращивания отобранных пород с 30-летним оборотом рубки (рис. 1).

Выявлено, что окупаемость затрат при выращивании древесины различных пород существенно отличается. Так, максимальная рентабельность наблюдается при выращивании робинии (118,4 %) и яблони (92,7 %). Рентабельность выращивания древесины черешни и сливы в 2,5–3 раза меньше и лишь немногим превышает 40 %, в то время как плантационное выращивание древесины облепихи не окупается в современных экономических условиях. В то же время при реализации сухих пиломатериалов существенно увеличится рентабельность предприятий по плантационному выращиванию древесины ценных пород.

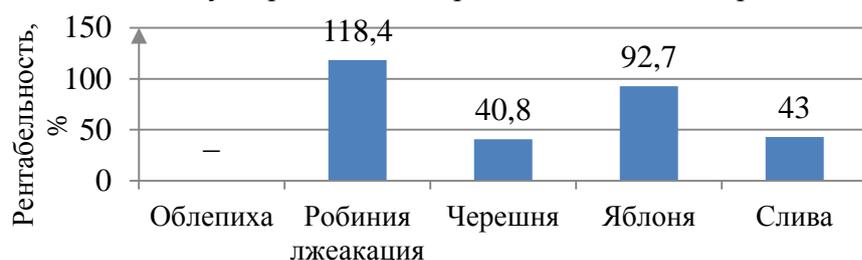


Рис. 1. Рентабельность выращивания при реализации лесоматериалов в круглом виде, %

Таким образом, создание плантаций для выращивания высококачественной древесины сливы, черешни, яблони и робинии является хоть и долгосрочным, но перспективным и рентабельным направлением, позволяющим обеспечить отечественную деревообрабатывающую промышленность ценным сырьем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пауль Э.Э. Древесиноведение. Учеб. пособие / Пауль Э.Э., Звягинцев В.Б. Минск, 2017. 271 с.
2. Сазонов А.А. Ведение лесного хозяйства в условиях короедного усыхания сосны / Сазонов А.А., Звягинцев В.Б., Кухта В.Н., Тупик П.В. Минск, 2017. 11 с.
3. Сельское хозяйство Беларуси // Лесное хозяйство. [Электронный ресурс]. 2017. URL: <http://aw.belal.by/russian/prof/prof.htm> (дата обращения 02.12.2017).
4. Штукин С.С. Ускоренное выращивание сосны, ели и лиственницы на лесных плантациях. Мн.: ИООО «Право и экономика», 2004. 242 с.
5. Эзенрейх Х. Быстрорастущие древесные породы / пер. с немецкого Л.Я. Бронзова, Д.Д. Мамин. Москва, 1959. 469 с.

PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES INTRODUCENTS WOOD, GROWING IN THE BELARUS, AND THE PROFITABILITY OF THEIR PLANTATION GROWTH

D.V. KAZEKA, V.B. ZVYAGENTSEV, E.A. ARINOVICH, Y.V. VASKO

Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus (dmitrykozeka@gmail.com)

The following tree species were studied: plum, apple, cherry, white acacia and sea-buckthorn. In the course of the study, the macro-construction of wood was described, the mean width of the annual layer was determined, and physical and mechanical properties were determined. The profitability of plantation cultivation of these species has also been determined.

ОЦЕНКА АНТИМИКРОБНОЙ АКТИВНОСТИ ВОДНЫХ ЭКСТРАКТОВ КОРЫ ЛИСТВЕННИЦЫ СИБИРСКОЙ ДЛЯ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИХ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

О.Э. КОНДАКОВА¹, И.Д. ГРОДНИЦКАЯ¹, А.Н. КУЗИНА², И.В. КРОТОВА²

¹ Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (koeandkoe@mail.ru, igrod@ksc.krasn.ru)

² Торгово-экономический институт Сибирского федерального университета, Красноярск, Россия (irakrotova@inbox.ru)

Утилизация отходов лесозаготовки и лесопереработки на сегодняшний день – проблема очень актуальная и нерешенная. Основными отходами лесозаготовки и лесопереработки являются сучья, корни, пни и кора, которые в незначительных количествах идут на сжигание и для нужд сельского хозяйства, а большей частью вывозятся на отвалы [1, 4, 6]. В связи с этим появление новых способов дальнейшего использования таких отходов остается востребованным.

Подтвержденным исследователями [2, 3, 8] фактом является наличие бактерицидных свойств у коры лиственницы сибирской. Установлено, что водные экстракты из компостированной коры лиственницы также обладают биологической активностью [2]. Одним из возможных путей применения биологической активности коры лиственницы может стать создание текстильных материалов с бактерицидными и фунгицидными свойствами.

Способов придания текстильным материалам бактерицидных свойств немало, но при создании таких материалов необходимо учитывать их возможное вредное воздействие на человека [6, 7]. Проведенные ранее исследования красящей способности водных экстрактов коры лиственницы сибирской подтвердили целесообразность окрашивания ими полиамидных волокон с получением гаммы бежево-коричневых тонов [5].

Целью исследований было изучение бактерицидной активности водных экстрактов коры лиственницы в зависимости от их концентрации и длительности хранения, а также окрашенных ими полиамидных волокон.

Исходным сырьем для исследований служила кора лиственницы сибирской (*Larix sibirica* L.), которую измельчали до фракции 1–3 мм и отбирали методом квартования.

Бактерицидную активность водного экстракта изучали, заливая исследуемую биомассу дистиллированной водой в соотношении 1:50. Смесь кипятили с обратным холодильником в течение часа. Затем полученный охлажденный экстракт фильтровали через бумажный фильтр (белая лента).

Тест-объектами были музейные культуры условно патогенных бактерий *Pseudomonas aeruginosa* ТНСС 27885, *Klebsiella pneumoniae* Т 904, *Escherichia coli* АТСС 39/21141, *Staphylococcus aureus* АТСС 25922, полученные из Всероссийской коллекции микроорганизмов и ГИСК им. Тарасевича, а также штаммы сапротрофных бактерий *Pseudomonas* sp., *Bacillus subtilis*, *Bacillus amyloliquefaciens* из коллекции микроорганизмов Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН (Красноярск).

Выращивание бактерий проводили на плотной питательной среде – мясо-пептонном агаре (МПА) в течение 20 часов. После смыва микробной биомассы физиологическим раствором готовили рабочую суспензию по оптическому стандарту мутности (ориентировочно 10^9 КОЕ/мл). Из полученной суспензии готовили концентрацию 10^7 КОЕ/мл, которую вносили (по 0,1 мл) в колбы с исследуемым экстрактом и его разведениями (5 мл). В результате микробная нагрузка составляла $1 \cdot 10^6$ КОЕ/мл. Полученные культуры бактерий в исследуемых экстрактах

инкубировали в течение суток при комнатной температуре (22–23 °С), затем в течение 3–5 суток при 27–29 °С. В течение эксперимента проводили контроль стерильности экстрактов и физиологического раствора. Наличие роста микроорганизмов определяли просматриванием пробирок в проходящем свете на присутствие бактериальной пленки, осадка или помутнения исследуемых препаратов.

Для того чтобы изучить антибактериальную активность полиамидных нитей, окрашенных водными экстрактами коры лиственницы сибирской, в чашках Петри на МПА высевали газонем тестируемые культуры (в трехкратной повторности). Затем на засеянную поверхность укладывали по 5–7 кусочков нити (на чашку), чашки инкубировали при 27 °С в термостате. Результаты опыта учитывали на 5-е сутки (табл. 1).

Таблица 1. Влияние водного экстракта коры лиственницы сибирской на условно-патогенные \ и сапротрофные бактерии*

| Исследуемый препарат | Условно-патогенные бактерии | | | | | | | | Сапротрофные бактерии | | | | | |
|--|-----------------------------|------|---------------------|------|----------------|------|------------------|------|------------------------|------|--------------------|------|-----------------------------|------|
| | <i>P. aeruginosa</i> | | <i>K. pneumonia</i> | | <i>E. coli</i> | | <i>S. aureus</i> | | <i>Pseudomonas</i> sp. | | <i>B. subtilis</i> | | <i>B. amyloliquefaciens</i> | |
| | 22 ч | 72 ч | 22 ч | 72 ч | 22 ч | 72 ч | 22 ч | 72 ч | 22 ч | 72 ч | 22 ч | 72 ч | 22 ч | 72 ч |
| Свежеприготовленный экстракт | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Свежеприготовленный экстракт в разведении 1:1 | - | + | - | + | - | + | - | + | - | - | - | - | - | - |
| Свежеприготовленный экстракт в разведении 1:5 | - | - | - | + | - | + | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Свежеприготовленный экстракт в разведении 1:10 | - | - | - | - | + | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Препарат из сухого концентрата | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Экспозиция экстракта 1 сутки | - | ++ | + | ++ | - | + | - | + | - | + | - | + | - | ++ |
| Экспозиция экстракта 20 суток | + | ++ | + | ++ | - | + | - | + | - | + | - | + | - | + |
| Экспозиция экстракта 120 суток | - | + | - | + | - | - | - | - | - | - | - | + | - | + |

* «+» – наличие роста тест-культур; «-» – отсутствие роста тест-культур.

Проведенные микробиологические исследования позволили установить, что свежеприготовленный (100 %) экстракт и его разведения (1:1, 1:5 и 1:10) способны сдерживать рост всех исследованных культур в течение 22 часов (табл. 1). Кроме того, как 100 % экстракт, так и сухой его концентрат, разбавленный дистиллированной водой, были способны сдерживать рост всех тестируемых бактерий на протяжении всего эксперимента (3 суток). Бактерицидная активность разведений 100%-го концентрата держалась только по отношению к сапротрофным бактериям, по отношению к условно-патогенным на третьи сутки отмечено появление пленки и осадка.

Для экстрактов с экспозицией от одних до 20 суток отмечен рост условно-патогенных микроорганизмов *Pseudomonas aeruginosa* и *Klebsiella pneumonia* уже в первые сутки опыта. Таким образом, препараты не оказывали бактерицидного действия, в пробирках отмечено помутнение, наличие обильного хлопьевидного осадка. На третьи сутки эти же препараты не сдерживали рост условно-патогенных (*Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*) и сапротрофных бактерий (*Pseudomonas* sp., *Bacillus subtilis*, *Bacillus amyloliquefaciens*).

Тот факт, что в отличие от других культур *Klebsiella pneumonia* не испытывала угнетающего действия фитопрепарата из коры лиственницы сибирской (и его концентраций), по-видимому, связан с ее морфологией (*K. pneumonia* имеет капсульную форму).

Свежеокрашенное полиамидное волокно, а также волокно после одной и пяти стирок проявило бактерицидную активность только в отношении культуры *Bacillus amyloliquefaciens*, зона отсутствия роста составляла от 2 до 5 мм.

Таким образом, наши исследования выявили, что: свежеприготовленные водные экстракты коры лиственницы сибирской обладают биоцидной активностью по отношению к условно-патогенным бактериям в течение 22 часов, а к сапротрофным бактериям – в течение 72 часов; срок хранения исследованных водных экстрактов влияет на их бактерицидную активность. Установлено, что через 120 суток она сохраняется лишь по отношению к двум из четырех исследованных условно-патогенных тест-культур (*Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*). По отношению к сапротрофным бактериям биоцидная активность экстрактов коры лиственницы сибирской не изменяется. Сухой концентрат полифенольного комплекса коры лиственницы сибирской, разбавленный дистиллированной водой до максимально возможной концентрации, сдерживает рост всех тестируемых бактерий на протяжении 72 часов; полиамидное волокно, окрашенное исследуемыми экстрактами, проявляет бактерицидную активность только по отношению к культуре *Bacillus amyloliquefaciens*. Причем данное свойство сохраняется и после пяти стирок, что позволяет рекомендовать обработанные полиамидные нити в качестве сырья для изготовления чулочно-носочных изделий с антимикробными свойствами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беседина И.Н., Симкин Ю.Я., Петров В.С. Получение углеродных материалов из отходов сухой окорки лиственницы сибирской. Особенности отходов сухой окорки как сырья для получения углеродных материалов // Химия растительного сырья. 2002. № 2. С. 63–66.
2. Гродницкая И.Д., Шапченкова О.А., Пашинова Н.В., Сенашова В.А., Пермякова Г.В. Бактериостатические свойства экстрактов коры хвойных Средней Сибири // Материалы XVII Международной конференции молодых ученых «Леса Евразии – леса Поволжья». Москва –Казань, 2017. С. 253–255.
3. Иванова С.З., Федорова Т.Е., Иванова Н.В., Федоров С.В., Остроухова Л.А., Малков Ю.А., Бабкин В.А. Флавоноидные соединения коры лиственницы сибирской и лиственницы гмелина // Химия растительного сырья. 2002. № 4. С. 5–13.
4. Колесникова А.В. Подход к оценке объемов образования древесных отходов в Российской Федерации // Научный вестник Московского государственного горного университета. 2013. № 11. С. 75–86.
5. Кротова И.В., Гродницкая И.Д., Кузина А.Н., Кондакова О.Э., Шишкина И.В. Исследование антибактериальной активности водных экстрактов коры лиственницы сибирской // Вестник КрасГАУ. 2017. № 5. С. 163–169.
6. Лоскутов С.Р., Семенович А.В., Анискина А.А., Пермякова Г.В., Пляшечник М.А. Продукты технического назначения из коры хвойных пород. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010. 113 с.
7. Разуваев А.В. Биоцидная отделка текстильных материалов // Рынок легкой промышленности.

2009. 64. С. 22–25.

8. Ульянова О.А., Тарабанько В.Е. Изучение биологической активности водных экстрактов из коры лиственницы и компостов на ее основе // Вестн. КрасГАУ. 2009. 6. С. 93–97.

THE ASSESSMENT OF WATER EXTRACTS LARCH SIBERIAN BARK ANTIMICROBIC ACTIVITY FOR THEIR OPPORTUNITIES PRACTICAL APPLICATION

O.E. KONDAKOVA¹, I.D. GRODNITSKAYA¹, A.N. KUZINA², I.V. KROTOVA²

¹ V.N. Sukachev Institute of forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (koeandkoe@mail.ru, igrod@ksc.krasn.ru)

² Trade and Economic Institute, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia (irakrotova@inbox.ru)

At present, the waste utilization of timber harvesting and processing is a very important problem left unsolved. The most part of wastes of timber harvesting and processing (branch timber, roots, stubs and bark) is taken out to stockpiles; therefore, the appearance of new methods of their further utilization is highly desired. The presence of bactericidal properties in the bark of Siberian larch is a fact confirmed by a number of researchers; the composted water extracts of the bark also have the biological activity. One of the possible ways of using the biological activity of the larch bark is the creation of textile materials with bactericidal and fungicide properties. It is expedient to paint polyamide fibers with water extracts of the Siberian larch bark to obtain the scale of beige-brown tones. In this regard, the purpose of the present research was to study the bactericidal activity of water extracts of the bark of the Siberian larch depending on their concentration and storage period, as well as polyamide fibers painted using them.

Opportunistic bacteria of *Pseudomonas aeruginosa* THCC 27885, *Klebsiella pneumonia* T 904, *Escherichia coli* ATCC 39/21141, *Staphylococcus aureus* ATCC 25922 and strains of saprotrophic bacteria – *Pseudomonas* sp., *Bacillus subtilis*, *Bacillus amyloliquefaciens* were the test objects. The initial raw material was the bark of the Siberian larch (*Larix sibirica* L.) ground to fractions of 1–3 mm. To study the bactericidal activity of the extracts, a working suspension of microorganisms was added to 5 ml of the studied extract and its cultivations and then incubated. To investigate the antibacterial activity of the polyamide fibers painted using the water extracts of the bark, the tested cultures were cultivated in Petri dishes, then, the fiber pieces were placed on this surface and incubated.

As a result, the extracts and dry concentrate (diluted with the distilled water) of the bark of the Siberian larch was observed to inhibit the growth of all the tested bacteria within 72 hours. The term of water extracts influences their bactericidal activity as related to opportunistic test cultures, and doesn't influence the bactericidal activity as related to saprotrophic microorganisms. The painted polyamide fibers was observed to have the bactericidal activity in relation to the culture of *Bacillus amyloliquefaciens*, even after five washings.

СТРУКТУРНЫЕ АДАПТАЦИИ *SPIRAEA BEAUVERDIANA* (ROSACEAE JUSS.) В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

А.В. КОПАНИНА

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия
(anna_kopanina@mail.ru)

Изучение структурных особенностей различных тканевых комплексов стебля древесных растений, в том числе водопроводящих, в условиях высокой напряженности факторов среды представляет особый интерес. В настоящей работе проведена сравнительная характеристика адаптивных черт вторичной ксилемы *Spirea beauverdiana* Schneid. (сем. Rosaceae Juss.) в экстремальных условиях Арктики [7] и поствулканической активности на Курильских островах, а также выполнен структурный анализ коры и ряда показателей древесины в онтогенезе в условиях поствулканической активности. Настоящая работа является продолжением наших исследований структурной организации стебля *Spirea beauverdiana* в экстремальных условиях газогидротермальных полей вулканических ландшафтов Курильских островов и Камчатки. Первые результаты в этом направлении опубликованы нами в работах [3, 4].

Spirea beauverdiana широко распространена на Дальнем Востоке, в Сибири, а также в Китае и Японии. Северная граница ее ареала проходит в арктических широтах. В зависимости от экологических условий этому виду свойственны две жизненные формы: летнезеленый кустарник (до 1 м высотой) и летнезеленый кустарничек [1].

Образцы *Spirea beauverdiana* в целях настоящего исследования собраны в полевой сезон 2007 г. на Центральном Восточном сольфатарном поле у подножия южного склона Центрального Восточного купола (северный участок берега кальдерного озера Кипящего) кальдеры вулкана Головнина (остров Кунашир). Сольфатарное поле, на котором расположены газовые выходы и прибрежные газогидротермальные источники? практически лишено растительности. Наиболее близко, на расстоянии 10–15 м от очагов сольфатар, расположенных вдоль берега термального озера Кипящего, среди каменистого склона вулкана встречаются рыхлые куртины *Reynoutria sachalinensis* (Fr. Schmidt) Nakai и очень компактные кусты высотой не более 10–15 см *Spirea beauverdiana*, *Ledum hypoleucum* Kom. и *Empetrum sibiricum* V. Vassil. В этих условиях *S. beauverdiana* представлена биоморфой кустарничек. Температура газов в очагах сольфатар достигает 90–100 °С. Гидротермы содержат сравнительно повышенные концентрации микроэлементов – Pb–Cd и Rb–As. В газовом составе термальных источников преобладают CO₂ и H₂S (в сумме 55 %), 42 % приходится на азот и редкие газы. На сольфатарных полях состав газов: CO₂ – 52 %, H₂S – 45 % [2].

В условиях Арктики материал был собран в Северной Корьякии, в верховьях р. Длинной на пониженных участках надпойменной террасы 18.07.1988. Возраст образцов *Spirea beauverdiana* 5–7 лет [7].

Образцы *Spirea beauverdiana* были прижизненно фиксированы нами в этиловом спирте, а затем были изготовлены постоянные и временные препараты стеблей, участков коры и древесины. Микросрезы стеблей толщиной 5–15 мкм выполнены на санном микротоме, окрашены сафранином и нильским синим и проанализированы с помощью светового микроскопа [6]. Изображения микросрезов мы подвергали компьютерной обработке с использованием специализированного программного обеспечения для измерения биометрических параметров и получения микрофотографий. Для экологической оценки были проанализированы показатели

тканей коры и древесины разновозрастных стеблей, для которых рассчитаны выборочное среднее и доверительный интервал для него (доверительная вероятность 95 %). Методика структурного анализа вторичной ксилемы *Spirea beauverdiana* в условиях Арктики представлена в работе [7].

В стебле *Spirea beauverdiana* из кальдеры вулкана Головнина во всех возрастных состояниях выявлены структурные отклонения от нормального роста и зоны неспецифического аномального строения. Эти зоны чередуются в стебле с участками «типичного строения». Формирование этих зон связано с нарушением в деятельности латеральных меристем стебля – феллогена и камбия. Вероятно, что их функциональная активность в условиях кальдеры носит прерывистый характер в течение вегетационного сезона. Развитие зон аномального строения стебля *Spirea beauverdiana* в ходе онтогенеза происходит наиболее интенсивно в молодом возрасте (3–5 лет), достигая максимальных значений в скелетных осях к 8 годам. В молодых стеблях наибольшее развитие приобретают зоны аномального строения перидермы, которые характеризуются мощными слоями феллемы и феллодермы, наличием брахисклерейд в феллодерме. В аномальных участках феллоген дополнительно закладывается во внешних слоях непроводящей флоэмы, что приводит к локальному формированию ритидома уже в 5 лет. С возрастом в стебле увеличивается доля участков с аномальными вторичными флоэмой и ксилемой. В этих зонах на поперечном срезе формируются так называемые провалы камбия в древесину за счет значительной дилатации и склерификации флоэмной паренхимы. Флоэмные и ксилемные лучи на таких участках гетероцеллюлярные, значительно дилатированные. Общими чертами в строении аномалий, которые прослеживаются на протяжении всего онтогенеза коры и древесины *Spirea beauverdiana*, являются: шаровидная форма аномального тела, свилеватость волокнистых элементов, повышенная паренхиматизация и склерификация, снижение удельного объема проводящих элементов флоэмы и ксилемы. Описанные структуры особенности аномалий *Spirea beauverdiana* обладают принципиальными чертами, свойственными неспецифическим аномалиям, выявленным у многих древесных растений [5].

Анализ радиальных годичных приростов вторичной ксилемы скелетных осей *Spiraea beauverdiana* дал возможность оценить возраст, при котором происходит погружение многолетнего стебля в субстрат. В экстремальных условиях кальдеры – это важный этап в онтоморфогенезе кустарничка, так как он способствует сохранности пула спящих почек возобновления и защите стволиков от агрессивных парогазовых выбросов газогидротерм. Индикаторный структурный признак перехода стебля в почву – тотальное (по всему объему меристемного цилиндра в коре) заложение повторного феллогена в возрасте 11–12 лет. Отслаивающаяся внешняя феллема захватывает коровые участки с аномальным строением. В связи с этим удельная площадь стебля аномального строения сокращается к 12–14 годам почти в два раза, а зоны аномального строения теперь локализованы преимущественно во вторичной флоэме и ксилеме. В этих аномалиях искажается ориентация сосудов и волокнистых элементов. В подземном стволике 13–15 лет удельная площадь аномального строения сохраняется на уровне 7–9 %. В зонах аномального строения формируются широкие агрегатные флоэмные и ксилемные очень широкие 25–35-рядные лучи. В возрасте 30–35 лет аномалии в стволике представлены только во флоэме и древесине, в перидерме они отсутствуют.

Характеризуя вторичную ксилему *Spiraea beauverdiana* в других экстремальных условиях – условиях Арктики, – необходимо отметить прежде всего следующие особенности: заложение очень узких и ложных (аномальных) слоев прироста, часто с неясной границей, что обусловлено периодичностью работы камбия в экстремальных

условиях; в направлении от сердцевины границы годичных колец становятся отчетливее; в этом же направлении меняются очертания и величина просветов сосудов: от угловатых к более крупным округлым [7]. В условиях кальдеры вулкана Головнина закладываются еще более узкие годичные слои прироста вторичной ксилемы (меньше в 2 раза и более). При этом коэффициент вариации этого признака также меньше, т. е. он более стабилен. Кроме того, в условиях кальдеры границы годичных слоев прироста древесины на протяжении всего онтогенеза вида неясны. В дефинитивной ксилеме одновременно присутствуют просветы различных очертаний.

Для многих кустарничков и кустарников Арктики Е.С. Чавчавадзе и О.Ю. Сизоненко [7] была выявлена особенность ювенильной ксилемы – первое годичное кольцо имеет структуру «позднего типа». Но *Spiraea beauverdiana* в этом плане является исключением. В условиях кальдеры структура годичного кольца «позднего типа» свойственна не только для первого года жизни растения, но и для молодых стеблей и стеблей более высокого возраста. Удельный объем волокнистых элементов древесины достигает наибольших значений в молодых стеблях (2–4 года). С погружением в почву крупных скелетных осей этот показатель существенно уменьшается.

Для кустарничков Арктики характерно сочетание одиночных и сгруппированных сосудов с количественным перевесом более специализированных – сгруппированных [7]. В условиях кальдеры у вида сгруппированные сосуды присутствуют в наибольшем объеме только в древесине стволиков высокого возраста. При этом одиночные сосуды еще более мелкие, чем в экстремальных условиях Арктики. В онтогенезе их удельный объем имеет тенденцию к уменьшению, а в стволиках различного возраста характеризуется близкими значениями.

Полученные результаты позволяют предположить, что выявленные особенности коры и вторичной ксилемы *Spiraea beauverdiana* имеют адаптивный характер к экстремальным условиям газогидротермальных полей вулканических ландшафтов. Выявлена общность и определенная специфичность структурной реакции вторичной ксилемы *Spiraea beauverdiana* в условиях Арктики и вулканических ландшафтов. Безусловно, требуются дальнейшие исследования, которые необходимо провести для этого вида в условиях сольфатарных полей других вулканов Курильских островов и Камчатки. Кроме этого, необходимо более детально охарактеризовать строение стебля в различных экологических условиях, не связанных с поствулканической активностью, на северном и высотном пределе распространения.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 15-04-04774) и в рамках государственного задания ИМГиГ ДВО РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Безделев А.Б., Безделева Т.А. Жизненные формы семенных растений российского Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука, 2006. 296 с.
2. Бортникова С.Б., Бессонова Е.П., Гора М.П. и др. Газогидротермы активных вулканов Камчатки и Курильских островов: состав, строение, генезис. Новосибирск: ИНГ СО РАН, 2013. 282 с.
3. Вацерионова Е.О., Копанина А.В. Особенности структуры молодых стеблей *Spiraea beauverdiana* в условиях сольфатарных полей вулкана кальдеры Головнина, остров Кунашир // Бюллетень Ботанического сада-института ДВО РАН. 2016. 15 (2). С. 8–10.
4. Копанина А.В., Власова И.И., Вацерионова Е.О. Структурные адаптации древесных растений к условиям вулканических ландшафтов Курильских островов // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2017. 1. С. 88–96.
5. Коровин В.В., Новицкая Л.Л., Курносоев Г.А. Структурные аномалии стебля древесных растений. М.: МГУЛ, 2001. 259 с.

6. *Справочник по ботанической микротехнике. Основы и методы.* / Р.П. Барыкина, Т.Д. Веселова, А.Г. Девятов и др. М.: МГУ, 2004. 312 с.
7. *Чавчавадзе Е.С., Сизоненко О.Ю.* Структурные особенности древесины кустарников и кустарничков арктической флоры России. СПб.: Изд-во «Росток», 2002. 272 с.

STRUCTURAL ADAPTATIONS OF *SPIRAEA BEAUVERDIANA* (ROSACEAE JUSS.) IN EXTREME CONDITIONS

A.V. KOPANINA

Institute of Marine Geology and Geophysics Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia (anna_kopanina@mail.ru)

In this work was studied a comparative characteristic of the adaptive features of the secondary xylem of the shrub *Spirea beauverdiana* Schneid (Rosaceae Juss.) in the extreme conditions of the Arctic and the caldera of the Golovnin volcano on the island of Kunashir (Kurile Islands), and structural analysis of the bark and wood in ontogenesis under the conditions of this caldera was performed. In the stem of *Spirea beauverdiana* from the caldera of the Golovnin volcano, in all age-related states structural deviation from normal growth and a zone of nonspecific anomaly structure were revealed. Common features in the structure of the anomalies that can be traced throughout the ontogenesis of the bark and wood of *Spirea beauverdiana* are: the spherical shape of the abnormal body, the crossgraining of the fibrous elements, increased parenchyma and sclereids, a decrease in the specific volume of the conducting elements of phloem and xylem. The generality and specific specificity of the structural reaction of the secondary xylem of *Spiraea beauverdiana* in Arctic conditions and volcanic landscapes were revealed.

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ КОРЫ И ДРЕВЕСИНЫ *BETULA ERMANII* (BETULACEAE S.F. GRAY) В ОСТРОВНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

A.V. КОПАНИНА, А.И. ТАЛЬСКИХ, И.И. ВЛАСОВА

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия (anna_kopanina@mail.ru)

Betula ermanii Cham. (Betulaceae S.F. Gray) – широко распространенный на Дальнем Востоке охотский вид. Произрастание березы каменной экологически связано с горными поднятиями в зоне холодного морского климата северных морей Тихого океана. Она обладает широкой нормой реакции и высокой степенью адаптивности к самым различным местопроизрастаниям [5]. На Сахалине и Курильских островах береза каменная встречается в различных, в том числе экстремальных природных условиях: формирует самостоятельный пояс каменноберезовых лесов, кустарниковые заросли на морских побережьях и в высокогорьях, встречается в ландшафтах, преобразованных современной вулканической деятельностью. Каменная береза по своим биологическим и фитоценотическим свойствам является сильным эдификатором [2]. Работы многих исследователей и наши обследования различных местообитаний вида на островах позволяют заключить, что жизненная форма каменной березы не является видоспецифичной и зависит от экологических условий. Береза каменная может быть деревом первой, второй, третьей величины, низким многоствольным деревом, кустарником, кустарником с полегающими стволиками. Большой изменчивостью обладают морфологические признаки ее вегетативных органов: степень опушения

побегов, параметры листовых пластинок, почечных чешуй и их форма [5]. Сведения о внутреннем строении вегетативных органов березы каменной, а именно о структуре коры и древесины, в литературе довольно фрагментарны [4, 6, 1], а исследования экологии коры и древесины практически отсутствуют. Целью настоящей работы является первое исследование структурных особенностей коры и древесины каменной березы в различных условиях произрастания на островах и в разных онтогенетических состояниях. Нами проведено исследование строения тканей коры и древесины березы каменной в условиях поствулканической активности газогидротермальной деятельности магматических вулканов острова Кунашир, Южно-Сахалинского грязевого вулкана острова Сахалин в сравнении с типичными (нормальными) условиями для березы каменной на острове Сахалин.

Сборы образцов выполнены в полевые сезоны 2007–2016 гг. Образцы разновозрастных стеблей, в том числе стволов, были собраны на острове Кунашир в различных экологических условиях: это газогидротермальные выходы вулкана Менделеева, сольфатарное поле кальдеры вулкана Головнина, а также на острове Сахалин – на границе грязевого поля Южно-Сахалинского грязевого вулкана и в типичных для вида условиях на острове Сахалин. Сбор образцов производился в каждом местообитании от 3 особей – модельных деревьев. В местообитании, принятом за контроль, – в пихтово-каменноберезовом кустарниково-разнотравном лесе (Сусунайский хребет, остров Сахалин в октябре 2015 г.) – модельные деревья березы каменной имели диаметр ствола 17–18 см, возраст 60–70 лет. На вулкане Менделеева на участке термопроявлений ручья Кислый образцы березы взяты в пихтово-еловом бамбучниково-кустарниковом лесу с участием березы каменной в сентябре 2010 г. В непосредственной близости к термальным выходам нижнего течения ручья были встречены только молодые особи березы высотой до 3–4 м с диаметром стволов 4–8 см. В кальдере вулкана Головнина (октябрь 2007 г.) отдельные растения березы встречаются в береговой зоне оз. Кипящего на значительном удалении от котлов газогидротермальных выходов среди кустарничковой растительности. В наибольшей близости от растительной группировки, в которой были взяты образцы березы, расположен юго-восточный участок газо- и термопроявлений Центрального Восточного сольфатарного поля кальдеры. Единичные растения березы в кальдере высотой 1,5–2 м (диаметр ствола 3–7 см, 30–35 лет) описаны нами в разреженных сообществах *Pinus pumila* с участием *Ledum hypoleucum* и *Empetrum sibiricum*. Значительных морфологических повреждений растений березы вблизи газогидротермальных выходов при полевом обследовании вулканов Менделеева и Головнина на острове Кунашир выявлено не было. В условиях грязевого вулкана береза каменная (диаметр ствола 28–32 см, 180–205 лет) произрастает как дерево первой величины на границе грязевого поля в березово-ольхово-ивовом высокотравном лесу.

Образцы прижизненно фиксировали в этиловом спирте, а затем изготавливали постоянные и временные препараты стеблей, участков коры и древесины. Микросрезы стеблей толщиной 5–25 мкм выполняли на санном микротоме, окрашивали сафранином и нильским синим и анализировали с помощью светового микроскопа [3]. Изображения микросрезков подвергали компьютерной обработке с использованием специализированного программного обеспечения для измерения биометрических параметров и получения микрофотографий. Для экологической оценки были проанализированы 42 показателя тканей коры и древесины разновозрастных стеблей березы каменной из различных местообитаний. Для каждого параметра, для каждого местообитания рассчитаны выборочное среднее и доверительный интервал для него (доверительная вероятность 95 %).

В ходе настоящего исследования определены особенности тканевого состава коры и ее структурной организации в молодых стеблях и стволе березы каменной, уточнены диагностические признаки по сравнению с ранее описанным материалом [1]. К концу вегетационного периода однолетний стебель снаружи покрыт перидермой, далее вглубь стебля расположены ткани кортекса: колленхима, основная паренхима; первичная флоэма; первичные механические элементы – склереиды и склеренхимные волокна; вторичная флоэма, состоящая из ситовидных трубок и клеток-спутниц, аксиальной, лучевой паренхимы, групп склереид, сформированных из клеток как аксиальной, так и лучевой паренхимы; камбий; вторичная ксилема; первичная ксилема, паренхима сердцевины.

Статистический анализ структурных показателей коры и древесины однолетнего стебля березы каменной из контрастных местообитаний позволил выделить зависимые от экологических условий признаки. Прослеживается определенная тенденция в реакции однолетних стеблей на условия среды. При нормировании (на показатели контроля, о-в Сахалин) показателей экстремальных условий (грязевой вулкан о-ва Сахалин, газогидротермы вулканов Менделеева и Головнина о-ва Кунашир) ряд показателей коры и некоторые показатели древесины с газогидротерм вулкана Менделеева лежат выше линии нормы, а с сольфатарного поля кальдеры Головнина – ниже нормы. Спектр этих показателей составляют: диаметр стебля; площадь коры, древесины, сердцевины и всего стебля, а также показатели коры: радиальный диаметр склеренхимных групп; ширина клеточной стенки склереиды; радиальный и тангенциальный диаметры склереиды; ширина проводящей флоэмы; длина членика ситовидных трубок; длина паренхимного тяжа; максимальная рядность и высота флоэмных лучей.

Показатели однолетнего стебля березы каменной, которые изменяются однонаправленно, – больше нормы во всех экстремальных условиях: это удельная площадь перициклических волокон и склереид; удельное число кристаллов в основной паренхиме кортекса и паренхиме флоэмы; радиальный диаметр ситовидных трубок; длина аксиального тяжа ксилемы. Показатели однолетнего стебля каменной березы меньше нормы во всех экстремальных условиях: это общий удельный объем флоэмных лучей; число 1-рядных флоэмных лучей на 1 мм; число ксилемных лучей на 1 мм ранней и поздней древесины; число 1-рядных ксилемных лучей на 1 мм ранней и поздней древесины. Остальные показатели ранней и поздней древесины из исследуемых местообитаний изменяются разнонаправленно, и определенной тенденции, характеризующей то или иное местообитание, не выявлено.

Анализ полученных данных позволяет заключить, что структурная реакция однолетнего стебля березы каменной на экстремальные условия газогидротермальных выходов выражается, прежде всего, в изменении показателей вторичной флоэмы – таких как параметры ситовидных трубок, флоэмные лучи и, в меньшей степени, аксиальной паренхимы. Кроме этого, имеет место повышенная склерификация и увеличение числа кристаллов оксалата кальция.

Реакция коры березы каменной на экологические факторы среды различна в молодых стеблях и в ствольной части имеет свои особенности. Ширина коры в условиях газогидротерм вулкана Менделеева больше в ствольной части, прежде всего, за счет объема непроводящей флоэмы. В ствольной части в условиях газогидротерм непроводящей флоэмы накапливается на 25–30 % больше. Кортекс, сохраняющийся в ствольной части, дилатирует с примерно одинаковой скоростью в различных экологических условиях, но его ширина меньше в условиях газогидротерм.

Проводящая флоэма отчетливо реагирует на экстремальные условия

газогидротермальных вулканических выходов – большей шириной. При этом в раннем возрасте в экстремальных условиях скорость увеличения ширины ткани заметно выше. В нормальных условиях прослеживается линейная зависимость ширины проводящей флоэмы от возраста стебля. Под влиянием экстремальных условий изменяется форма ситовидных трубок дефинитивной флоэмы, они становятся более округлыми: радиальный диаметр больше, а тангенциальный меньше. Радиальный и тангенциальный диаметры ситовидных трубок увеличиваются с возрастом линейно. При этом увеличение радиального диаметра в экстремальных условиях происходит быстрее, а тангенциального – медленнее. Следует обратить внимание на увеличивающуюся в стволовой части дисперсию этих показателей, что свидетельствует о присутствии в пределах одного годовичного прироста ситовидных трубок различных размеров – и более крупных, и более мелких. Размер ювенильных ситовидных трубок в норме в 3–4 раза мельче размера ситовидных трубок стволовой части, а в экстремальных условиях – в 4–5 раз соответственно. В условиях грязевого вулкана ситовидные трубки молодых стеблей на 25–30 % крупнее.

В условиях газогидротермальных источников изменяется длина члеников ситовидных трубок – она больше. Возрастные тренды сходны с нормальными условиями, скорость увеличения длины члеников ситовидных трубок примерно одинаковая. Следует отметить, что при этом длина члеников сосудов заметно не меняется в зависимости от экологических условий и имеет исключительно возрастную зависимость.

С возрастом в исследуемых экологических условиях происходит быстрое нелинейное уменьшение флоэмных лучей, но тренд прослеживается неуверенно. Для экологической оценки этого показателя необходимо наращивать объем данных. Количество ксилемных лучей снижается с возрастом до некоего постоянного уровня и в норме, и в экстремальных условиях, при этом в экстремальных условиях ксилемных лучей в стволовой части больше. В молодых стеблях в нормальных условиях в ксилеме и флоэме лучей больше на 25–27 % и так же больше 2-3-рядных лучей.

В молодой коре в условиях газогидротермальных выходов склереидные группы в лучевой паренхиме формируются уже в первый год. Зависимость числа кристаллов оксалата кальция в тканях коры (основной паренхиме кортекса и непроводящей флоэме) от экологических условий не очевидна по имеющимся данным. Этот показатель очень различен от одного возраста стебля к другому.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты № 15-04-04774, 15-05-01768) и в рамках государственного задания ИМГиГ ДВО РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Еремин В.М., Копанина А.В.* Атлас анатомии коры деревьев, кустарников и лиан Сахалина и Курильских островов. Брест – Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2012. 896 с.
2. *Кабанов Н.Е.* Каменноберезовые леса в ботанико-географическом и лесоводственном отношении. М.: Наука, 1972. 136 с.
3. *Справочник по ботанической микротехнике. Основы и методы.* / Р.П. Барыкина, Т.Д. Веселова, А.Г. Девятов и др. М.: МГУ, 2004. 312 с.
4. *Талалуева Л.В.* Особенности анатомического строения коры стебля некоторых видов рода *Betula* (Betulaceae) // Бот. журнал. 1985. 70 (4). С 490–495.
5. *Шемберг М.А.* Береза каменная (систематика, география, изменчивость). Новосибирск: Наука, 1986. 175 с.
6. *Taipale H.T., Hirmilil L., Rousi M., Lapinjoki S.P.* Histological and chemical comparison of triterpene and phenolic deterrent contents of juvenile shoots of *Betula* species // Structure and function trees. 1994. 8: 232–236. DOI: 10.1007/BF00196627.

FEATURES OF THE STRUCTURE OF BARK AND WOOD *BETULA ERMANII* (BETULACEAE S.F. GRAY) IN ISLAND ECOSYSTEMS

A.V. KOPANINA, A.I. TALSКИH, I.I. VLASOVA

Institute of Marine Geology and Geophysics Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia (anna_kopanina@mail.ru)

This work is the first study of the structural features of the bark and wood *Betula ermanii* from various growth conditions on Sakhalin and Kuril Islands and in different ontogenetic states. *Betula ermanii* is a widely distributed species in the Far East, its growth is ecologically associated with mountain uplifts in the zone of cold sea climate of the northern seas of the Pacific Ocean. It has a broad reaction rate and a high degree of adaptability to the most diverse sites of growth. We carried out a study of the structure of bark and *Betula ermanii* in conditions of post-volcanic activity of gashydrothermal activity of magmatic volcanoes on the island of Kunashir, Yuzhno-Sakhalinsky mud volcano of Sakhalin Island in comparison with typical (normal) conditions for birch stone. The structural response is expressed primarily in the change in the indices of the secondary phloem – the parameters of the sieve tubes, the phloem rays and, to a lesser extent, the axial parenchyma. In addition, there is increased sclerosis and an increase in the number of crystals of calcium oxalate.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСТАТОЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ ПРИ СТАТИЧЕСКОМ ИЗГИБЕ

А.А. КОТОВ¹, А.Ф. АЛЯБЬЕВ²

¹ Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Мытищи, Россия (kotov@mgul.ac.ru)

² Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Мытищи, Россия (alyabievaf@rambler.ru)

При испытаниях древесины под действием постоянной нагрузки установлено, что кроме собственно упругой деформации, появляющейся немедленно после приложения нагрузки, с течением времени развиваются эластические и остаточные (пластические) деформации. Упругие и эластические деформации составляют обратимую часть общих деформаций, они исчезают после снятия нагрузки. Полная обратимость эластической деформации коренным образом отличает ее от пластической, необратимой в любых условиях. Остаточные деформации сохраняются в древесине после снятия нагрузки при длительной выдержке в среде с постоянной температурой и влажностью [5, 6]. Скорость нарастания остаточных деформаций за счет упругих зависит от величины последних и вязкости древесины.

В то время как свойства срезанной древесины изучены достаточно полно, сведений о деформационных свойствах растущих древесных растений в литературе недостаточно.

Целью статьи является определение влияния величины упругих деформаций на остаточные деформации растущих древесных растений при их статическом изгибе.

Определение деформации представляет собой сложную задачу и не всегда учитывает реальные условия произрастания. Так, при изучении упругих свойств живых растений часто игнорируется влияние их механической связи с почвой. Кроме этого, в исследованиях используются предварительно срезанные растения, что приводит к некоторой ошибке. Чаще всего растущее дерево моделируют жестко закрепленной с одной стороны консолью. В таком случае влияние корневой системы не принимается во внимание. Но тогда при изучении изгибов стволика под действием рабочих органов

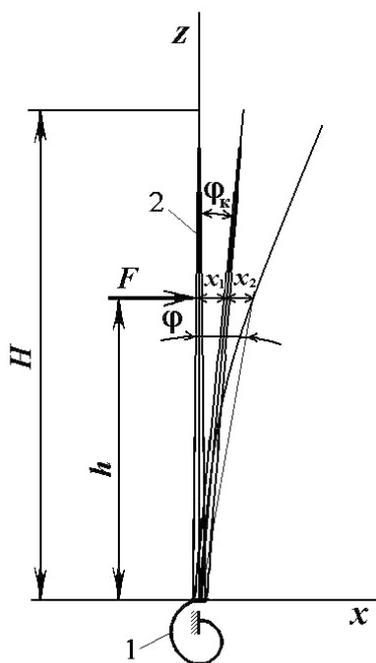


Рис. 1. К расчету изгиба растения:
1 – корневая система, 2 – ствол

углом. Этим вводилось допущение о моделировании стволика абсолютно жесткой балкой.

Ввиду того, что отклонить растение точно на определенный угол не представлялось возможным, отклонение производилось фиксированной изгибающей силой F .

Тогда момент этой силы

$$M = F \cdot h, \quad (1)$$

где h – высота приложения нагрузки, $h = 0,5$ м.

К стволу прикладывались поочередно возрастающие с равным шагом нагрузки для изгиба его в прямом направлении. Максимальное значение нагрузки не превышало предел упругости и достигало 200 Н. Затем весь процесс повторялся при изгибе стволика в обратном направлении.

Вначале фиксировалось исходное пространственное положение стволика растения, затем каждое его положение под нагрузкой и после ее снятия. Угол φ отклонения оси стволика от исходного положения определялся на фотографии для каждого замера с помощью программы Paint.NET. Начало координат совмещалось с геометрическим центром сечения на высоте корневой шейки стволика. Полученные результаты представлены в табл. 1. После снятия нагрузки ствол не возвращается сразу в исходное положение, то есть при изгибе наблюдается наличие эластических и остаточных деформаций (далее – остаточных).

На основании полученных данных построены петли упругого гистерезиса [3]. На рис. 2 петля построена для одной березы со следующими параметрами: $d_0 = 36,5$ мм, $H = 6,135$ м. Цифрой 1 показано поведение стволика под нагрузкой при изгибе его в прямом направлении, цифрой 2 – поведение стволика после снятия нагрузки при этом изгибе, цифрой 3 – поведение стволика под нагрузкой при изгибе в обратном направлении и цифрой 4 – поведение стволика после снятия нагрузки при данном

лесохозяйственных машин зафиксированные в опыте прогибы стволика не будут отражать напряжений в корневой системе [4].

Для учета механической связи корней растения с почвой, обеспечивающей упругую заделку, моделируем ствол растущего древесного растения консолью, представляющей собой балку переменного сечения по высоте и закрепленной жестко у основания со спиральной пружиной, имитирующей корневую систему (рис. 1).

Для достижения поставленной цели на сплошной вырубке, поросшей самосевом, были проведены опыты на растущих стволиках березы высотой от 2,4 до 6,1 м. Эксперименты проводились в два этапа [1, 2]. На первом этапе определялся прогиб стволика, вызванный только деформацией корневой системы и почвы (далее – корневой системы), на втором этапе – полный прогиб стволика, вызванный деформацией корневой системы и почвы и изгибом самого стволика.

На первом этапе ствол от корневой шейки до высоты 0,6 м сжимался двумя стальными

изгибе.

Таблица 1. Результаты экспериментов по изучению деформаций древесных растений

| | | | | | | | | | |
|--|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Диаметр стволика у корневой шейки, d_0 , мм | | 26,5 | 27,1 | 33,0 | 34,3 | 34,5 | 36,3 | 36,5 | 39,6 |
| Высота растения, H , м | | 2,93 | 2,42 | 2,94 | 2,88 | 3,10 | 2,97 | 6,14 | 5,94 |
| Максимальный изгибающий момент, M , Н·м | в прямом направлении | 26,7 | 26,7 | 26,7 | 35,6 | 26,7 | 37,8 | 97,9 | 97,9 |
| | в обратном направлении | -22,3 | -26,7 | -26,7 | -35,6 | -26,7 | -37,8 | -97,9 | -97,9 |
| Упругая деформация, φ , град. | в прямом направлении | 23,7 | 14,7 | 16,1 | 7,4 | 9,2 | 13,3 | 8,2 | 4,4 |
| | в обратном направлении | -14,9 | -5,6 | -16,4 | -9,8 | -9,5 | -18,1 | -5,4 | -3,3 |
| Остаточная деформация, $\Delta\varphi$, град. | в прямом направлении | 1,5 | 1,9 | 0,8 | -0,2 | -0,2 | -1,2 | 0,6 | 0,3 |
| | в обратном направлении | 0,8 | 1,4 | -0,6 | -0,2 | -0,8 | -2,6 | -0,4 | -0,5 |

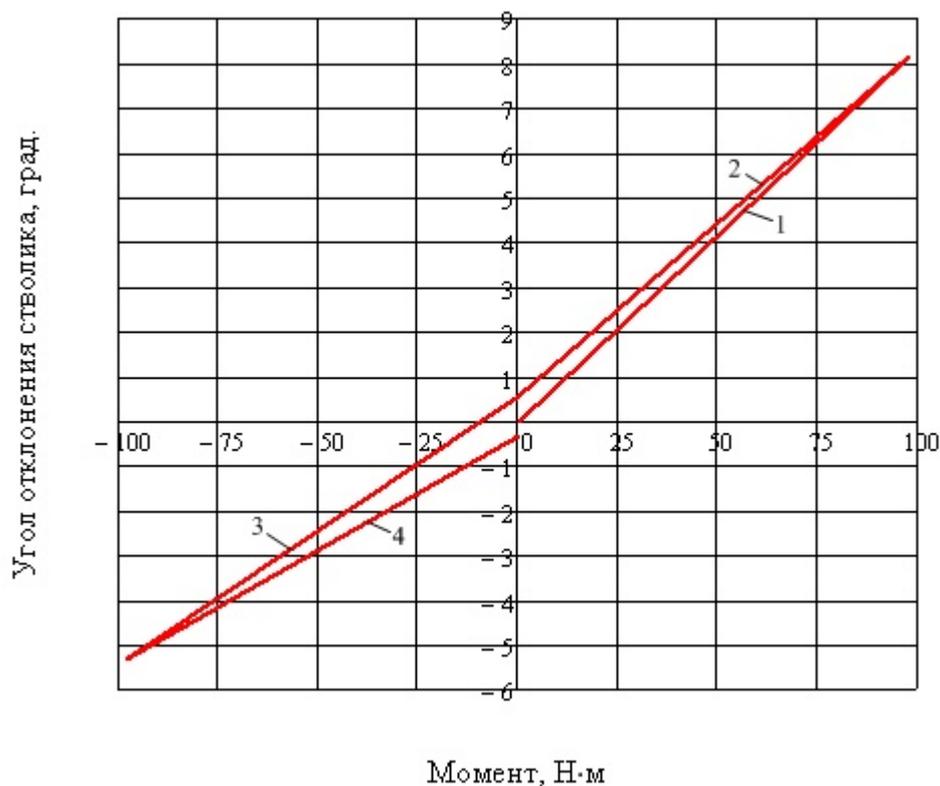


Рис. 2. Петля гистерезиса для стволика березы

При увеличении диаметра d_0 петля приближается к оси абсцисс. Установлено, что и упругие, и остаточные деформации находятся в линейной зависимости от нагрузки. Анализ показывает, что остаточные деформации в среднем составляют 6–14 % от упругих.

На втором этапе стволики освобождались от уголков, и весь процесс их статического изгиба в двух направлениях повторялся. В этом случае определялась не угловая, а линейная деформация стволиков в точке приложения нагрузки (0,5 м).

Поскольку прогиб стволика за счет деформации самого стволика определить на растущем растении невозможно, он определялся как разница между полной деформацией и прогибом стволика за счет деформации корневой системы. Полная деформация вычислялась по формуле

$$x = x_1 + x_2, (2)$$

где x_1 – прогиб точки стволика за счет деформации корневой системы,

x_2 – прогиб точки стволика за счет деформации самого стволика.

$$x_1 = h \cdot \varphi_k, \quad x = h \cdot \varphi,$$

где φ_k – угловая деформация стволика за счет корневой системы,

φ – полная угловая деформация стволика.

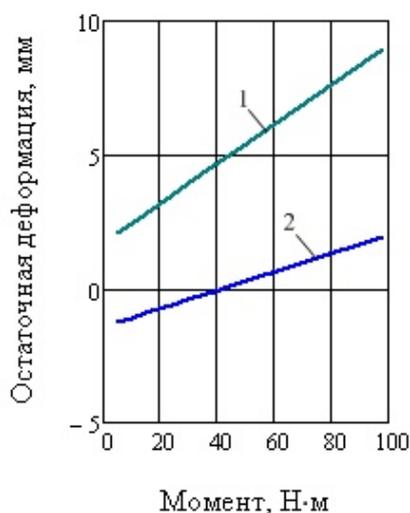


Рис. 3. Зависимости средней линейной остаточной деформации стволков от нагрузки: 1 – $d_0 = 36,5$ мм, $H = 6,135$ м, 2 – $d_0 = 39,6$ мм, $H = 5,936$ м

При небольшой высоте приложения нагрузки (0,5 м) и данном диаметре стволика больший вклад в полную деформацию вносит корневая система; но при увеличении высоты приложения нагрузки или уменьшении диаметра стволика ситуация начинает меняться на противоположную [2].

Поскольку значения деформации стволков при изгибе в обоих направлениях отличаются, далее приняты их средние значения. График зависимости средней линейной остаточной деформации стволков от нагрузки представлен на рис. 3. Здесь видно, что остаточная деформация, так же, как и упругая, прямо пропорциональна нагрузке.

В заключение необходимо сделать вывод о том, что при расчете параметров и режимов работы лесохозяйственных машин (например, кусторезов), рабочие органы которых вступают в контакт с древесной растительностью, необходимо учитывать не только упругие, но и остаточные деформации этой растительности, а также влияние на эти деформации как самих стволков, так и их корневой системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов Г.А., Котов А.А. Коэффициент жесткости корневой системы дерева при статическом изгибе // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. 2011. № 3. С. 98–102.
2. Иванов Г.А., Котов А.А. Приближенный способ определения модуля упругости древесных стволков при изгибе // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: матер. междунар. науч.-техн. конференции, 8–10 декабря 2009 г. Вологда, ВоГТУ, 2010. С. 155–159.
3. Красносельский М.А., Покровский М.А. Системы с гистерезисом. М.: Наука, 1983. 271 с.
4. Котов А.А. Упругие и остаточные деформации древесных растений при статическом изгибе // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2014. № 2. С. 47–53.
5. Перельгин Л.М., Уголев Б.Н. Древесиноведение: изд. 4-е, доп. и испр. М.: Лесная пром-сть, 1971. 288 с.

6. Тюленева Е.М. Уточнение реологической модели древесины // Хвойные бореальной зоны. 2008. № 1–2. С. 179–183.

STUDY OF RESIDUAL DEFORMATIONS OF WOODY PLANTS AT A STATIC BEND

A.A. KOTOV¹, A.F. ALYABYEV²

¹ Mytishchi branch of MSTU named after N.E. Bauman, Mytishchi, Russia (kotov@mgul.ac.ru)

² Mytishchi branch of MSTU named after N.E. Bauman, Mytishchi, Russia (alyabievaf@rambler.ru)

The description of experiments by definition of dependence of a corner of a deviation of an axis stipes a wood plant from size of the bending moment is given. Dependences of angular and linear elastic and residual deformations of plants on loading are determined. Results of experiments are submitted in the graphic form.

ПОПЕРЕЧНЫЕ КОЛЕБАНИЯ ПОЛУПРИПОДНЯТОГО СТВОЛА ЕЛИ В ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ

A.A. KOTOV¹, Г.А. ИВАНОВ²

¹ Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Мытищи, Россия (kotov@mgul.ac.ru)

² Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Мытищи, Россия (ivanovga@mgul.ac.ru)

Любую динамическую систему, выполняющую рабочие операции по продольному перемещению полуприподнятого ствола, можно представить как механическую колебательную. Задача по оценке колебаний полностью погруженных хлыстов решена в работе [3]. Исследуем колебания полуприподнятого ствола, хотя известны работы, в которых рассматриваются колебания аналогичного вида [1, 2, 7, 8]. Рассмотрение этого вопроса объясняется тем, что в работах [1, 7] представлены только экспериментальные результаты по колебаниям хлыстов, в работе [2] хлыст переменного сечения заменяется набором сосредоточенных масс, а длина поднятой части находится по эмпирическим формулам, не учитывающим форму ствола. В работе [8] хлыст переменного сечения представлен ступенчатым стержнем.

Для решения задачи согласно [4, 5] примем, что равновесие упругой линии полуприподнятого ствола, находящегося в состоянии покоя, нарушено тем, что к упругой линии внезапно прикладываются и тотчас же удаляются поперечные силы. В этом случае ствол начинает колебаться. Обозначим через y прогиб упругой линии в сечении x в момент времени t . Тогда частная производная $\partial^2 y / \partial t^2$ будет определять в момент времени t направленное от оси Ox ускорение элемента ствола dx , расположенного на расстоянии x от начала координат. Для того чтобы элементу длины dx сообщить это ускорение, требуется приложить силу величиной $p = -\rho \cdot A \cdot dx \cdot \partial^2 y / \partial t^2$, где ρ – средняя плотность древесины, A – площадь поперечного сечения ствола.

Дифференциальное уравнение динамического изгиба ствола с непрерывно распределенными массами получим, используя дифференциальное уравнение изогнутой оси ствола в форме

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(E \cdot I \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right) + \rho \cdot A \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = 0. \quad (1)$$

Для его решения применим к нему метод разделения переменных Фурье, полагая

при этом $y(x, t) = T(t) \cdot X(x)$. После подстановки $y(x, t)$ в (1) и соответствующего преобразования для функций $T(t)$ и $X(x)$ получаем обыкновенные дифференциальные уравнения:

$$\ddot{T} + \omega^2 \cdot T = 0. \quad (2)$$

$$(E \cdot I \cdot X''') - \omega^2 \cdot \rho \cdot A \cdot X = 0. \quad (3)$$

Нумеруя собственные частоты в порядке возрастания, так, что $\omega_1 < \omega_2 < \omega_3 < \dots$, получим для каждой собственной частоты ω_k из этого ряда соответствующую частную форму колебаний $X_k(x)$, удовлетворяющую уравнению (3) при $\omega = \omega_k$, а именно

$$(E \cdot I \cdot X_k''') - \omega_k^2 \cdot \rho \cdot A \cdot X_k = 0. \quad (4)$$

Для нахождения первого члена ряда, соответствующего первой основной форме колебаний, применим метод Рэлея, согласно которому первая основная частота определяется выражением

$$\omega_1^2 = \frac{g \cdot \int_0^L q(x) \cdot Y(x) dx}{\int_0^L q(x) \cdot Y(x)^2 dx}. \quad (5)$$

Здесь $Y(x)$ – прогиб ствола дерева под действием нагрузки $q(x)$.

Для получения кривой прогиба используем уравнение

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(E \cdot I(x) \cdot \frac{\partial^2 y(x)}{\partial x^2} \right) = q(x). \quad (6)$$

Неравномерно распределенная при переменной вдоль ствола плотности нагрузка получена в [7], а момент инерции поперечного сечения определяется формулой $I(x) = \pi \cdot (a \cdot (L_c - x)^\mu)^4 / 4$, где $a \cdot (L_c - x)^\mu$ – радиус поперечного сечения ствола на расстоянии x от комля. Введем константу жесткости ствола $d = E \cdot \pi \cdot a^4 / 4$ и новую переменную $z = (L_c - x)$, тогда жесткость ствола будет иметь вид $E \cdot I(z) = d \cdot z^{4\mu}$. Дополнительно понизим порядок дифференциального уравнения $\frac{d^2}{dz^2} y(z) = \psi(z)$ и получим уравнение упругой линии ствола [4]

$$y(z) = V_1 \cdot z^{2\mu_K - 4\mu + 4} + c_1 \cdot O_1 \cdot z^{-4\mu + 2} + c_2 \cdot N_1 \cdot z^{-4\mu + 3} + c_3 \cdot z + c_4, \quad (7)$$

где $V_1 = \frac{d_1}{(2\mu_K - 4\mu + 4) \cdot (2\mu_K - 4\mu + 3)}$; $N_1 = \frac{1}{(4\mu - 2) \cdot (4\mu - 3)}$.

Для поиска постоянных интегрирования c_1, c_2, c_3 и c_4 воспользуемся краевыми условиями. Возвращаясь в уравнении (7) к исходной переменной x , получим уравнение изогнутой части ствола, которое в нашем случае определяет первую нормальную форму колебания

$$Y_1(x) = V_1 \cdot (L_c - x)^{2\mu_K - 4\mu + 4} + c_1 \cdot O_1 \cdot (L_c - x)^{-4\mu + 2} + c_2 \cdot N_1 \cdot (L_c - x)^{-4\mu + 3} + c_3 \cdot (L_c - x) + c_4. \quad (8)$$

Подставляя $Y_1(x)$ из (8) в уравнение (5), находим частоту основного тона колебания полуприподнятого ствола, перемещаемого за комель.

Для определения частоты колебаний стволов ели при имитации их продольного перемещения в полуприподнятом положении выполнены экспериментальные исследования (всего изучено 10 стволов свежесрубленной ели, в статье представлены только два из них). Диаметр ствола в центре пролета равнялся для ели № 1 92 мм, для ели № 2 – 97 мм. Стволы устанавливались комлем на опору, а вершина оставалась на земле. Затем к центру пролета ствола прикреплялся на гибкой нити груз массой 20 кг, происходил статический прогиб ствола. Величина пролета без нагрузки равнялась 4 м,

высота опоры – 0,8 м. Далее нить обрезалась, и ствол совершал затухающие поперечные колебания. Выполнялась видеосъемка колебаний, которая разделялась на кадры с временным шагом 0,04 с с их расшифровкой. Потом строился график зависимости амплитуды колебаний точки подвеса груза от времени (рис. 1) [4].

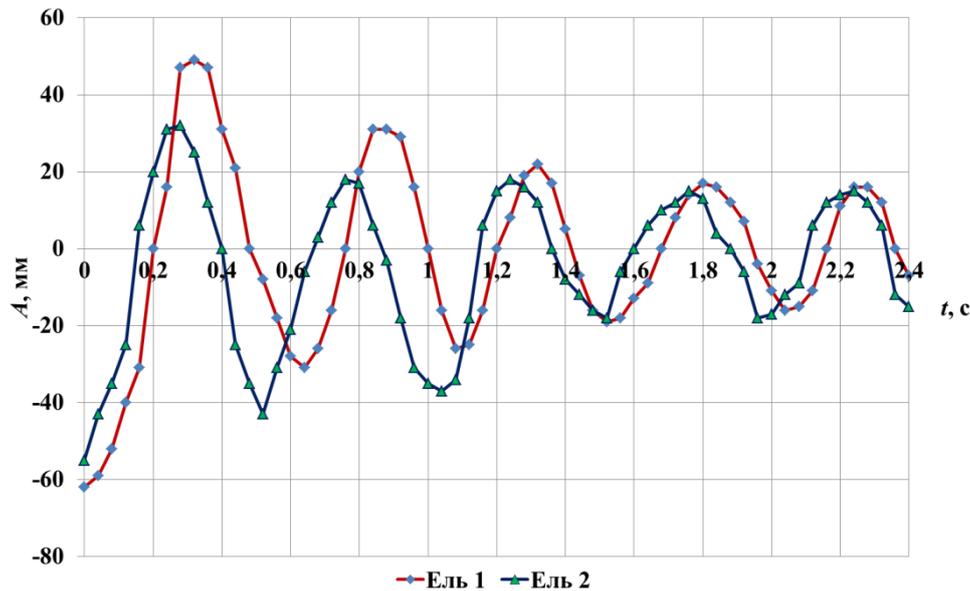


Рис. 1. График колебаний ели (экспериментальные кривые)

Далее методом графического дифференцирования были построены графики зависимости скорости и ускорения точки подвеса груза от времени.

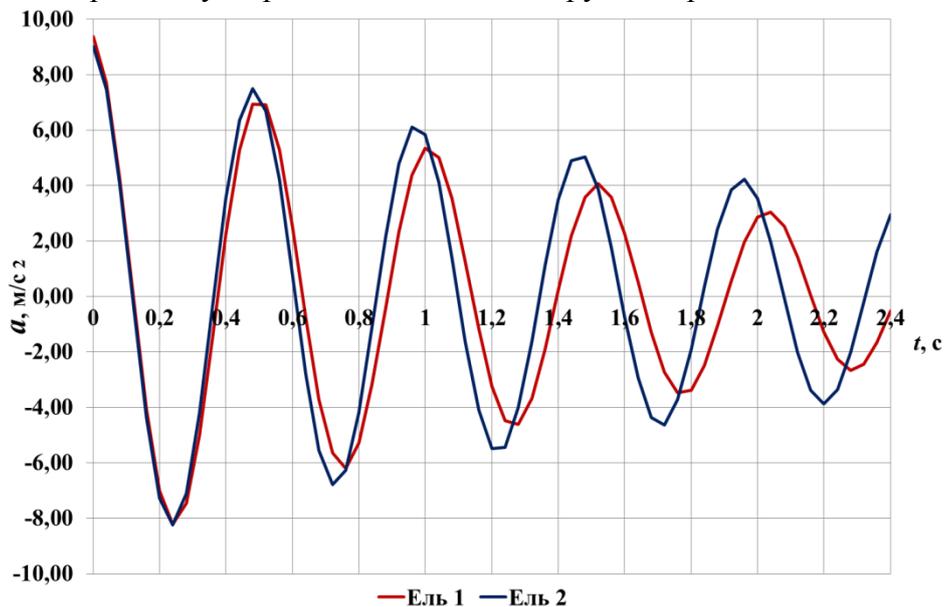


Рис. 2. График изменения ускорения ели (аппроксимированные кривые)

После двукратного дифференцирования уравнения затухающих колебаний произвольной точки ствола [6]

$$y = A_0 \cdot e^{-\delta f t} \cos(\omega \cdot t)$$

получено выражение для определения ускорения данной точки:

$$y'' = a = -A_0 \cdot e^{-\delta f t} (\omega^2 \cdot \cos(\omega \cdot t) - \delta^2 f^2 \cdot \cos(\omega \cdot t) - 2\delta f \omega \cdot \sin(\omega \cdot t)). \quad (9)$$

На основании этого уравнения построен график изменения ускорения указанной

точки (рис. 2). В связи с тем, что параметры колебаний елей изменяются в процессе колебаний (в частности, уменьшается период колебаний), нами приняты их средние значения: для первой ели $T = 0,51$ с, $\delta = 0,28$; для второй ели $T = 0,49$ с, $\delta = 0,19$.

Полученные значения круговой частоты колебаний и ускорения точек ствола позволят более точно рассчитывать технологические силы при работе специальных лесных машин и учитывать их при проектировании.

ЛИТЕРАТУРА

1. Библиок Н.И., Перетятко Б.Т. Экспериментальное исследование собственных частот хлыста как предмета транспортирования // Лесное хозяйство, лесная, бумажная и деревообрабатывающая промышленность. Вып. 3. Киев: Будівельник, 1974. С. 64–69.
2. Варава В.И., Ведерников О.М. Моделирование хлыстов и их подвеса при трелевке в полупогруженном положении // Лесной журнал. 1991. № 3. С. 29–35.
3. Жуков А.В. О выборе расчетной модели погруженных деревьев при исследовании колебаний лесных машин // Лесной журнал. 1977. Вып. 101. № 4. С. 75–80.
4. Иванов Г.А., Котов А.А. Параметры колебаний ствола березы при трелевке // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. Т. 21. 2017. № 4. С. 47–52.
5. Иванов Г.А. Собственные колебания первой формы полуприподнятых стволов деревьев в продольном перемещении // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. 2002. № 2. С. 168–174.
6. Котов А.А. Экспериментальные исследования параметров колебаний древесных растений // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2013. № 5. С. 196–199.
7. Симанович В.А. Исследование свободных колебаний деревьев при различных конструкциях подвеса // Механизация лесоразработок и транспорт леса. Вып. 14. Минск: Вышэйшая школа, 1984. С. 115–118.
8. Смехов С.Н. О взаимосвязи колебаний хлыстов, перевозимых в полупогруженном (полуподвешенном) положении, и сопротивления их перемещению // Труды ЦНИИМЭ. Вып. 106. Сборник статей Иркутского филиала ЦНИИМЭ. Химки, 1970. С. 14–26.

TRANSVERSE VIBRATIONS RAISED TRUNK OF SPRUCE IN VERTICAL PLANE

A.A. KOTOV¹, G.A. IVANOV²

¹ Mytishchi branch of MSTU named after N.E. Bauman, Mytishchi, Russia (kotov@mgul.ac.ru)

² Mytishchi branch of MSTU named after N.E. Bauman, Mytishchi, Russia (ivanovga@mgul.ac.ru)

The obtained expression of the fundamental frequency of oscillation of the trunk of a tree given its form, roaming in the butt. Experimental study of transverse vibrations of raised trunks of spruce. The parameters of these oscillations, including the frequency.

ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ОБУСЛОВЛЕННОСТЬ РАДИАЛЬНОГО РОСТА У ПРИВИВОК КЕДРОВЫХ СОСЕН НА КЛОНОВОЙ ПЛАНТАЦИИ В КРАСНОЯРСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ

Г.В. КУЗНЕЦОВА

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (galva@ksc.krasn.ru)

Многообразие ценных признаков кедровых сосен предопределяет создание прививочных плантаций различного целевого назначения – для получения древесной и недревесной продукции. Наряду с созданием плантаций из клонов деревьев кедр сибирского местных популяций целесообразно закладывать и плантации, содержащие коллекции особей вида из разных местопроисрастаний их ареала, а также деревьев близкородственных видов. Создание таких плантаций позволяет решать и ряд других вопросов из области биологии древесных видов и их семеноводства – изучения биологии репродуктивного процесса, интродукции видов, изучения степени совместимости компонентов прививок в определенных климатических условиях [4, 3, 7].

Накопленный опыт создания клоновых плантаций хвойных видов показывает как общие, так и частные особенности развития прививок. Поскольку прививка представляет собой сочетание двух организмов разного генотипа (привоя и подвоя), естественно, возникает вопрос о степени сохранности прививок, взаимовлиянии компонентов прививки. Годичные кольца, ежегодно формирующиеся в стволах древесных растений, являются хорошими индикаторами изменчивости сезонных и погодичных условий роста древесных растений. Ранее было показано, что географическое происхождение привоя отражается на анатомической структуре подвоя [1]. Результаты последующих работ по анализу радиального роста прививок кедровых сосен выявили вариабельность ширины годичных колец подвоев в зависимости от комбинации с привоем и различие в климатическом отклике компонентов прививки [2]. Тем не менее остается нерешенным вопрос взаимодействия генетически детерминированных и контролируемых внешними условиями механизмов в процессе формирования древесных колец [10, 11]. Поэтому особый интерес представляют гетеропластические прививки растений как объект исследования механизмов, лежащих в основе регуляции системы, интегрирующей два различных генома. Отражение в структуре древесины взаимодействия двух генетически разнородных организмов (привоя кедр и подвоя сосны) также может внести вклад в понимание и идентификацию молекулярных механизмов, управляющих процессом совместного роста привоя и подвоя.

Объектом исследования были привитые на сосне обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) прививки сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour) и сосны кедровой европейской (*Pinus cembra* L.). Прививки кедровых сосен созданы (кедр европейского в 1963, кедр сибирского разных клонов – в 1965 г.) в Красноярской лесостепи на территории экспериментального опытного хозяйства Погорельский бор. В данных условиях климат резко континентальный, годовая норма осадков составляет 410 мм, среднегодовая температура 1,3 °С, сумма температур выше 5 °С составляет 1968.

В качестве контрольных деревьев были взяты непривитые деревья сосны обыкновенной из естественного насаждения и интродуцированные культуры сосны кедровой сибирской, произрастающие в сходных с привитыми деревьями экологических и климатических условиях.

Многолетние наблюдения за прививками кедровых сосен на сосне обыкновенной показали положительный эффект влияния подвоя сосны обыкновенной на прививку:

это отразилось на скорости роста и устойчивости привитых деревьев в данных условиях [5]. Тем не менее выявлены видовые различия роста и совместимости кедровых сосен на подвое сосны обыкновенной.

Проведен анализ радиального роста (за 15 лет) по ширине годичного кольца гетеропластических прививок кедра сибирского и европейского, привитых на подвой сосны обыкновенной и контрольных деревьев. При сравнении контрольных непривитых интродуцированных деревьев кедра сибирского и деревьев местной сосны обыкновенной выявлено, что ширина годичного кольца (ШГК) в контрольном древостое у сосны обыкновенной больше ШГК деревьев кедра сибирского на 0,65 мм (табл. 1).

Таблица 1. Ширина годичного кольца у компонентов прививок кедровых сосен и контрольных деревьев

| Виды, климатип | Компонент прививки | Среднее значение ШГК, мм |
|--|----------------------------|--------------------------|
| Кедр сибирский (емельяновский климатип, Красноярский край) | Привой, кедр сибирский | 2,37±0,55 |
| | Подвой, сосна обыкновенная | 2,12±0,55 |
| Кедр европейский (Карпаты) | Привой, кедр сибирский | 1,83±0,46 |
| | Подвой, сосна обыкновенная | 1,56±0,37 |
| Кедр сибирский <i>P. sibirica</i> | Контроль | 1,20*±0,62 |
| Сосна обыкновенная <i>P. sylvestris</i> | Контроль | 1,85±0,47 |

Примечание. * Среднее значение за последние 15 лет.

Однако при сравнении ШГК контрольных деревьев с привитыми деревьями отмечается противоположный результат: прирост привоя кедровых сосен превышает прирост подвоя сосны обыкновенной, что свидетельствует о взаимном влиянии компонентов прививки друг на друга. Прирост по диаметру сосны обыкновенной, которая является подвоем для кедра сибирского, превышает прирост контрольного древостоя на 15 %. Надо отметить, что сосна обыкновенная, будучи подвоем для прививок кедра европейского, по ШГК превосходила контрольные деревья сосны в течение первых 17 лет после прививания, а в дальнейшем отмечено снижение роста подвоев сосны на 10 % (табл. 1). Наиболее поздний старт вегетационного периода у кедра европейского обуславливает подавленный прирост подвоя сосны, для которого характерны самые минимальные показатели продукции трахеид и их радиального диаметра. У каждого вида сосен начало закладки элементов ксилемы в условиях Красноярской лесостепи происходит поочередно с разницей в 10–20 дней. Первой в фазу формирования трахеид ранней древесины вступает *P. sylvestris*, и это время приходится на конец мая – начало июня [3], затем со второй декады июня в фазу вступает *P. sibirica* и на декаду позже – *P. cembra* [6].

Выявлено, что характер изменения анатомических параметров подвоев сосны обыкновенной зависит от вида и происхождения привоев. Влияние со стороны привоев карпатского (*P. cembra*) и емельяновского (*P. sibirica*) климатипов приводит к уменьшению радиального диаметра трахеид подвоев сосны обыкновенной (табл. 1). Климатическая реакция подвоев сосны обыкновенной аналогична реакции непривитых деревьев, при которой индексы прироста положительно коррелируют с температурой [2].

В отличие от подвоев, привои кедра сибирского и кедра европейского имеют более сложную реакцию на климатические факторы. Прививки местного климатипа

(*P. sibirica*) представляют собой модель, демонстрирующую адаптивные возможности в условиях данного региона, тогда как прививки интродуцированных деревьев *P. cembra* – приспособленного к условиям достаточного влагообеспечения и более позднему старту в сезонном росте, – отражают проявления региональных адаптационных механизмов.

Неодинаковый ритм роста привоев кедров сибирского и кедров европейского с подвоем сосны обыкновенной объясняется тем, что в естественных условиях данные виды растут медленнее сосны обыкновенной. Если до определенного возраста (в зависимости от климатического привоя) привой и подвой развиваются согласованно, то со временем у подвоя сосны, в зависимости от обусловленного ритма, начинается снижение активности роста, в то время как привой кедров еще активно растет, в результате чего проявляется несовместимость компонентов прививки. Привой опережает подвой по скорости радиального роста, что является иногда причиной несовместимости между компонентами прививок и приводит к гибели привитых деревьев [5]. Более низкий радиальный прирост кедров европейского по сравнению с кедром сибирским обусловлен генетическими особенностями данного вида и не связан с влиянием климатических факторов.

В результате проведенных исследований радиального роста по ШГК прививок кедров сибирского и кедров европейского выявлено, что прививание у гетеропластических прививок усиливает радиальный рост как привоя, так и подвоя по сравнению с контрольными (непривитыми) деревьями соответствующих видов, что свидетельствует о взаимном положительном влиянии компонентов прививки друг на друга. Сохранение сезонной динамики анатомических характеристик, свойственной исходным видам деревьев привоя и подвоя, указывает на стабильность генетического контроля формирования ксилемы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ваганов Е.А., Кузнецова Г.В., Свистова В.И., Круглов В.Б. Анатомия годичных колец у прививок кедров сибирского. Лесоведение. 2010. 3: 59–70.
2. Дарикова Ю.А., Ваганов Е.А., Кузнецова Г.В., Грачев А.М. Структура годичных колец прививок кедровых сосен как отражение взаимодействия привоя и подвоя // Journal of Federal University. Biology. 4 2014. 7. Рр. 411–428.
3. Жук Е.А. Эколого-географическая дифференциация кедров сибирского: опыт исследования *ex situ* // Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Томск, 2011.
4. Кузнецова Г.В. Семеношение и качество семян клонов кедров сибирского разного происхождения на плантации в красноярской лесостепи // Лесоведение. 2003. № 6. С. 42–48.
5. Кузнецова Г.В. К вопросу о видовой несовместимости прививок кедров сибирского на сосну обыкновенную // Вестник Томского государственного университета. Томск. 2004. № 10. С. 45–46.
6. Кузнецова Г.В. Опыт создания клоновой плантации кедровых сосен Красноярской лесостепи // Хвойные бореальной зоны. 2007. № 2–3. С. 217–224.
7. Тутов Е.В. Плантационное лесовыращивание кедровых сосен. Воронеж: ВГЛТА, 2004. 165 с.
8. Antonova G.F., Stasova V.V. Effects of environmental factors on wood formation in Scots pine stems // Trees – Struct. and Funct. 1993. 7 (4): 214–219.
9. Darikova J.A., Savva Y.V., Vaganov E.A., Grachev A.M., Kuznetsova G.V. Grafts of Woody Plants and the Problem of Incompatibility Between Scion and Rootstock (a review) // Журнал СФУ. Биология/ 2011. 4 (1): 54–63.
10. Vaganov E.A., Hughes M.K., Shashkin A.V. Growth dynamics of conifer tree rings: an image of past and future environments. Springer-Verlag, Berlin: Heidelberg, New York, 2006. 355 p.
11. Wodzicki T.J. Natural factors affecting wood structure // Wood science and technology. 2001. 35. 5–26.

GENETIC DEFINITION OF RADIAL GROWTH IN *CEMBRAU* GROUP PINES ON CLONE PLANTATION IN KRASNOYARSK FOREST-STEPPE

G.V. KUZNETSOVA

V.N. Sukachev Institute OF Forest Russian Academy of Sciences, Siberian Branch, Krasnoyarsk, Russia (galva@ksc.krasn.ru)

Analysis of the radial growth of geterografts of Siberian pine (*Pinus sibirica* Du Tour) and Swiss stone pine (*Pinus cembra* L.) was conducted. In all of the cases the rootstock was Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). Radial growth of the grafts of Siberian pine was 23 % higher than for Swiss stone pine due to species peculiarities. The radial increment of the rootstock of Scots pine depends on the type of scion: the diameter growth of *P. sylvestris* (rootstock for Siberian pine) is greater than for the control trees by 15 % for the Emelianovo provenance, whereas the diameter growth of Scots pine (rootstock for Swiss stone pine) is 10 % less than for the control stand (ungrafted trees). This can be considered to be a result of the scion influence.

ОСОБЕННОСТИ ДРЕВЕСИНЫ У СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ РАЗНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В ГЕОГРАФИЧЕСКИХ КУЛЬТУРАХ ЗАПАДНОЙ И СРЕДНЕЙ СИБИРИ

С.Р. КУЗЬМИН

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (skr_7@mail.ru)

Исследования ширины годичного кольца широко распространены в научной литературе в связи с изучением реакции деревьев на условия произрастания. Методические подходы к изучению этого параметра довольно просты и легко повторимы. Изучение доли поздней древесины менее популярно, к тому же в некоторых работах не приводится детальное описание методических подходов, с помощью которых выделяется зона поздней древесины. Например, имеются две интерпретации индекса Морка [10]. В одном случае трахеиды начинают относить к поздним, когда толщина их клеточной стенки, умноженная на два, равна или больше радиального размера просвета клетки (люмена). Этот подход применим к исследованиям, где необходимо четкое разделение на раннюю и позднюю зону. Такое изолированное исследование разных зон кольца мало учитывает переходную зону, с которой и могут быть связаны основные особенности сравниваемых деревьев. В другом случае трахеиды относят к поздним, когда толщина их клеточной стенки, умноженная на четыре, равна или превосходит радиальный размер люмена. В этом случае часть клеток так называемой «переходной зоны» будет учтена, что позволит выявлять особенности формирования трахеид в годичном кольце. Существуют и другие подходы, которые учитывают площади клеточных стенок и просвета, требующие детального подхода к особенностям анатомии древесины, получения трахеидограмм годичных колец и последующего их анализа.

Разными исследованиями установлено, что доля поздней древесины у сосны обыкновенной и других видов хвойных увеличивается с возрастом, а также от сухих и бедных к влажным и плодородным лесорастительным условиям [1–3, 5, 7, 9]. Исследования, проводимые в искусственных насаждениях, которые представляют собой географические культуры, создают благоприятные условия для выявления особенностей древесины у сосны обыкновенной разного происхождения, так как

наряду с комплексом методических подходов при сравнительном анализе образцов можно учитывать лесорастительные условия произрастания, возраст деревьев, погодные условия и широкий спектр других экологических факторов.

Цель данной работы: провести сравнительный анализ радиального роста и особенностей формирования доли поздней древесины у одноименных климатических экотипов, тестируемых в разных лесорастительных зонах и климате, выявить условия, при которых различия между климатипами проявляются в наибольшей степени.

Объектами исследования являются географические культуры сосны обыкновенной, созданные в лесостепи Западной Сибири на участке с дерново-подзолистой суглинистой почвой и южной тайге Средней Сибири на участке с темно-серой лесной суглинистой почвой. Они созданы в одно и то же время (1976–1977 гг.) по схожей методике, в рамках единой программы создания географических культур [4]. Описание объектов приведено ранее в других работах [6, 8]. В данной работе приводится сравнение ширины годичного кольца и доли поздней древесины у шести климатипов, тестируемых в двух пунктах испытания географических культур. К этим климатипам относятся: сузунский (лесостепь Новосибирской области – местный климатип для объекта в Западной Сибири), богучанский (южная тайга Красноярского края – местный климатип для объекта в Средней Сибири), плесецкий (средняя тайга Архангельской области), енисейский (южная тайга Красноярского края), чемальский (лесостепь – подтайга Республики Алтай), балгазынский (подтайга – горная тайга Республики Тыва).

Сравнение структуры древесины в географических культурах в лесостепи Западной Сибири показало достижение максимального прироста у исследуемых климатипов в одном возрасте – 9 лет. В географических культурах в южной тайге Средней Сибири возраст достижения максимального радиального прироста у климатипов разный: у богучанского и плесецкого – 12 лет; балгазынского и чемальского – 13 лет; сузунского и енисейского – 16 лет (рис. 1).

Исследование доли поздней древесины проводилось по анатомическим срезам. Трахеиды в радиальных рядах относились к поздним, когда радиальный диаметр просвета клеток не превышал толщину клеточной стенки более чем в 4 раза [11]. Сравнение индексов доли поздней древесины, проведенное для контрольных климатипов (сузунского и богучанского) в условиях лесостепи, показало наличие высокой значимой корреляции между ними ($r=0,67$; $p<0,001$), а в условиях южной тайги значимой корреляции не выявлено, при том, что индексы ширины годичного кольца коррелируют при высоком уровне значимости ($r=0,68$; $p<0,001$). Выявлено, что в условиях темно-серой лесной почвы в южной тайге Средней Сибири богучанский и сузунский климатипы обладают меньшей погодичной изменчивостью доли поздней древесины (17–23 %) по сравнению с географическими культурами в лесостепи Западной Сибири (35–42 %).

Таким образом, различия между климатипами проявляются в южной тайге Средней Сибири – в более благоприятных гидротермических условиях. Для сравнения разных климатипов в условиях южной тайги Средней Сибири по ширине годичного кольца и доле поздней древесины были выбраны контрастные по погодным условиям годы – 1998 (невысокие температуры и большое количество осадков) и 2003 (высокие температуры и низкое количество осадков).

В 1998 году (возраст – 24 года) климатипы показывают разные показатели ширины годичного кольца. Так, наибольшая средняя ширина годичного кольца отмечается у сузунского климатипа (3547 мкм), достоверно ($p<0,01$) отличающегося от всех остальных исследуемых климатипов, енисейский климатип (2660 мкм) достоверно ($p<0,01$) больше чемальского (2066 мкм) и последующих. Чемальский имеет среднюю

ширину годовичного кольца достоверно ($p < 0,05$) большую, чем плесецкий (1635 мкм) и балгазынский (1498 мкм) климатипы. Ширина годовичного кольца у местного богучанского климатипа (1795 мкм) не отличается достоверно от чемальского, плесецкого и балгазынского в этот год.

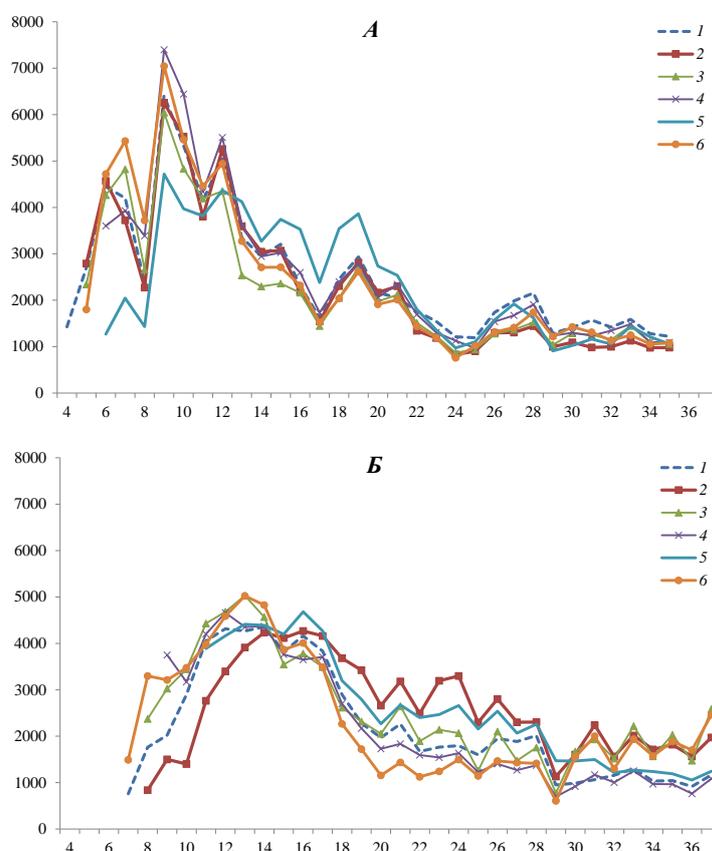


Рис. 1. Ширина годовичного кольца (ось ординат, мкм) в разном возрасте (ось абсцисс) у климатипов сосны обыкновенной (1 – богучанский; 2 – сузунский; 3 – чемальский; 4 – плесецкий; 5 – енисейский; 6 – балгазынский) в лесостепи Средней Сибири (А) и южной тайге Средней Сибири (Б)

Различия между климатипами в исследуемый год проявляются и по доле поздней древесины. По этому показателю наибольший средний процент поздней древесины характерен для южных климатипов: чемальского (31,4 %), сузунского (28,8 %) и балгазынского (28,0 %). Меньший процент характерен для северных климатипов: богучанского (23,5 %), плесецкого (20,6 %) и енисейского (17,3 %). Различия между чемальским и енисейским климатипами достоверные ($p < 0,001$). Отличительной особенностью влажного 1998 года является наличие в поздней древесине (в самом конце годовичного кольца) трахеид с повышенным просветом и тонкими стенками – это характерно в основном для южных климатипов, в особенности для чемальского климатипа (рис. 2).

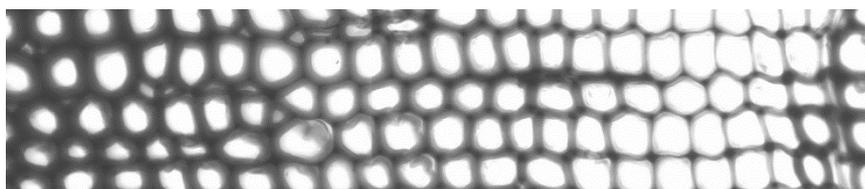


Рис. 2. Фрагмент поздней древесины, сформированной в 1998 году у дерева чемальского климатипа (увеличение 400×)

Сравнительный анализ показал, что в год засушливых условий (2003, возраст деревьев – 29 лет) у всех климатипов наблюдается резкий спад радиального роста, с практически одинаковыми абсолютными значениями ширины годичного кольца, после которого восстановление радиальных приростов пошло по-разному. К группе климатипов с наибольшими радиальными приростами в период после 30-летнего возраста относятся все южные исследуемые происхождения: сузунский, балгазынский и чемальский. Минимальные радиальные приросты после 30-летнего возраста характерны для самого северного из исследуемых климатипов – плесецкого. В 2003 году вместе с шириной годичного кольца у южной группы климатипов доля поздней древесины уменьшилась на 6,7–13,0 %. У чемальского климатипа она составила 18,4 %, у сузунского – 20,2 %, у балгазынского – 21,3 %. У северной группы климатипов не отмечается снижения доли поздней древесины, у богучанского она составляет 23,7 %, плесецкого – 18,6 % и енисейского – 22,7 %.

Таким образом, засушливые условия среды препятствуют выявлению различий между климатипами: это касается как условий произрастания в глобальном климатическом и экологическом плане, так и погодных условий. Особенности реакции деревьев контрастного географического происхождения, проявляющиеся в разных анатомических характеристиках годичных колец, можно выявить в условиях обильного количества осадков в течение вегетационного периода. Выявлено, что в таких условиях климатипы из более теплых мест происхождения способны формировать большее количество трахеид в поздней зоне (чемальский и сузунский климатипы), в то время как другие климатипы увеличивают ширину годичного кольца только за счет ранней древесины (енисейский климатип).

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ (14-04-31366; 16-05-00496).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Блохина Н.И., Бондаренко О.В., Осипов С.В.* Влияние условий произрастания на формирование анатомической структуры древесины лиственницы Каяндера (*Larix cajanderi* Maigr) в Приамурье // *Экология*. 2012. № 6. С. 391–402.
2. *Брюханова М.В., Кирдянов А.В., Свищерская И.В., Почебыт Н.П.* Влияние погодных условий на анатомическую структуру годичных колец лиственницы Гмелина на севере Средней Сибири // *Лесоведение*. 2014. № 4. С. 36–40.
3. *Данилов Д.А., Степаненко С.М.* Строение и плотность древесины ели и сосны в плантационных культурах Ленинградской области // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*. 2013. Вып. 204. С. 35–46.
4. *Изучение имеющихся и создание новых географических культур*. Пушкино: ВНИИЛМ, 1972. 51 с.
5. *Киселева А.В., Сахарова В.Н.* Изменение процента поздней древесины по радиусу ствола у сосны обыкновенной в различных экологических условиях // *Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика*. 2014. Т. 2. № 2–1 (7–1). С. 239–244.
6. *Кузьмин С.Р.* Динамика радиального роста сосны обыкновенной в географических культурах на дерново-подзолистой песчаной почве // *Хвойные бореальной зоны*. 2012. Т. 30. № 1–2. С. 106–110.
7. *Матвеев С.М.* Динамика поздней древесины сосны обыкновенной в различных лесорастительных условиях // *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. 2005. № 4. С. 70–75.
8. *Роговцев Р.В., Тараканов В.В., Ильичев Ю.Н.* Продуктивность географических культур сосны в условиях среднеобского бора // *Лесное хозяйство*. 2008. № 2. С. 36–38.
9. *Тюкавина О.Н.* Состояние и рост сосны в лесопарке Ягры // *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*. 2014. № 3. С. 138–143.
10. *Koubaa A., Zhang S.Y., Makni S.* Defining the transition from earlywood to latewood in black

spruce based on intra-ring wood density profiles from X-ray densitometry // Annals of Forest Science. 2002. V. 59. N. 5–6. P. 511–518.

11. Park Y-I.D., Spiecker H. Variations in the tree-ring structure of Norway spruce (*Picea abies*) under contrasting climates // Dendrochronologia. 2005. V. 23. P. 93–104.

WOOD FEATURES OF SCOTS PINE OF DIFFERENT ORIGIN IN THE PROVENANCE TRIALS IN WESTERN AND CENTRAL SIBERIA

S.R. KUZMIN

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk Russia (skr_7@mail.ru)

Tree ring width and part of latewood were studied in six Scots pine climatotypes growing in different provenance trials. Significant differences between climatotypes were revealed in the year with big amount of precipitation during vegetation period on the plot in south taiga zone in Central Siberia.

РАЗРАБОТКА УТОЧНЕННОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРЕССОВАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ

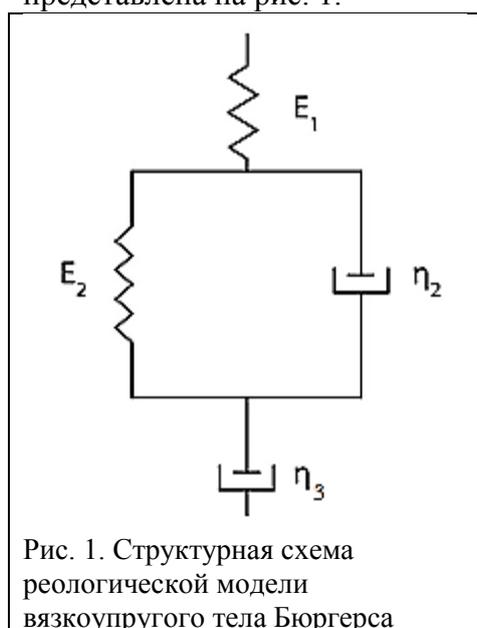
С.В. КУЧЕР¹, Е.Г. ХИТРОВ², В.А. СОКОЛОВА³

¹ Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова (i.p.kucher@yandex.ru)

² Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова (yegorkhitrov@gmail.com)

³ Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова (sokolova_vika@inbox.ru)

Для моделирования поведения древесины при прессовании используют реологическую модель вязкоупругого тела Бюргера [2], структурная схема которой представлена на рис. 1.



Модель состоит из четырех элементов. Первый из них, характеризующийся модулем упругости E_1 , служит для учета обратимых упругих деформаций при прессовании, возникающих мгновенно после приложения нагрузки и так же мгновенно останавливающихся после ее снятия. Параллельные друг другу элементы с модулем упругости E_2 и вязкостью η_2 отражают развитие эластических деформаций, которые развиваются во времени вплоть до некоторого предела, а после снятия нагрузки – постепенно восстанавливаются. Элемент с вязкостью η_3 служит для учета необратимых деформаций, на развитие которых затрачивается время.

Дифференциальное уравнение связи напряжения и деформации в модели тела Бюргера [1]:

$$\frac{d^2\sigma}{dt^2} + \frac{E_1\eta_2 + E_1\eta_3 + E_2\eta_3}{\eta_2\eta_3} \frac{d\sigma}{dt} + \frac{E_1E_2}{\eta_2\eta_3} \sigma = E_1 \frac{d^2\varepsilon}{dt^2} + \frac{E_1E_2}{\eta_2} \frac{d\varepsilon}{dt} \quad (1)$$

Как правило, исследователи пользуются решением уравнения (1) при постоянной напряженности $\sigma = \text{const}$, когда начальные условия к решению уравнения (1), как следует из схемы на рис. 1, следующие:

$$\varepsilon(0) = 0, \quad (2)$$

$$\frac{d\varepsilon(0)}{dt} = \frac{\eta_2 + \eta_3}{\eta_2 \eta_3} \sigma. \quad (3)$$

В этом частном случае получим следующую формулу:

$$\varepsilon = \frac{(E_1 + E_2)\sigma}{E_1 E_2} + \frac{\sigma}{\eta_3} t - \frac{\sigma}{E_2} \exp\left(-\frac{E_2}{\eta_2} t\right). \quad (4)$$

Исследуем решение уравнения (1) при постоянной скорости прессования, определяющейся уравнением:

$$V = \frac{\varepsilon_k}{T}, \quad (5)$$

где T – время прессования, ε_k – конечная относительная деформация заготовки, достигаемая к моменту остановки плит пресса.

Относительную деформацию заготовки в этом случае определим по формуле:

$$\varepsilon = Vt. \quad (6)$$

Уравнение (1) примет вид:

$$\frac{d^2\sigma}{dt^2} + \frac{E_1\eta_2 + E_1\eta_3 + E_2\eta_3}{\eta_2\eta_3} \frac{d\sigma}{dt} + \frac{E_1E_2}{\eta_2\eta_3} \sigma = \frac{E_1E_2}{\eta_2} V. \quad (7)$$

Как следует из схемы на рис. 1, начальные условия к решению уравнения (7) следующие:

$$\sigma(0) = V \frac{\eta_2\eta_3}{\eta_2 + \eta_3}, \quad (8)$$

$$\frac{d\sigma(0)}{dt} = 0. \quad (9)$$

Уравнение (7) в этом случае имеет громоздкое аналитическое, которое после преобразований и упрощений, пренебрегая малозначимыми членами, можно представить формулой:

$$\sigma = V\eta_3 \left\{ 1 - \exp\left[\frac{-(E_1\eta_2 + E_1\eta_3 + E_2\eta_3) + \sqrt{(E_1\eta_2 + E_1\eta_3 + E_2\eta_3)^2 - 4E_1E_2\eta_2\eta_3}}{2\eta_2\eta_3} t \right] \right\}. \quad (10)$$

На рис. 2, 3 показаны графики функции (10). Значения параметров $E_1 = 0,7$ ГПа, $E_2 = 1,4$ ГПа, $\eta_2 = 5,5$ ГПа·с, $\eta_3 = 55$ ГПа·с, $V = 1/600$ с⁻¹, $1/150$ с⁻¹ (прессование на 20 % и 40 % за 10 и 20 минут).

Расчетные данные, представленные графиками на рис. 2, 3, сопоставлены на рис. 4.

Анализ графиков позволяет сделать два важных вывода:

1. У материала, реология которого описывается моделью Бюргера с принятыми параметрами, присутствует участок кривой «напряжение – деформация», на котором напряжение практически прямо пропорционально деформации, причем связь сохраняется до прессования заготовки на 5–10 %.
2. Коэффициент пропорциональности на указанном участке зависит и от скорости, и от конечной степени прессования.

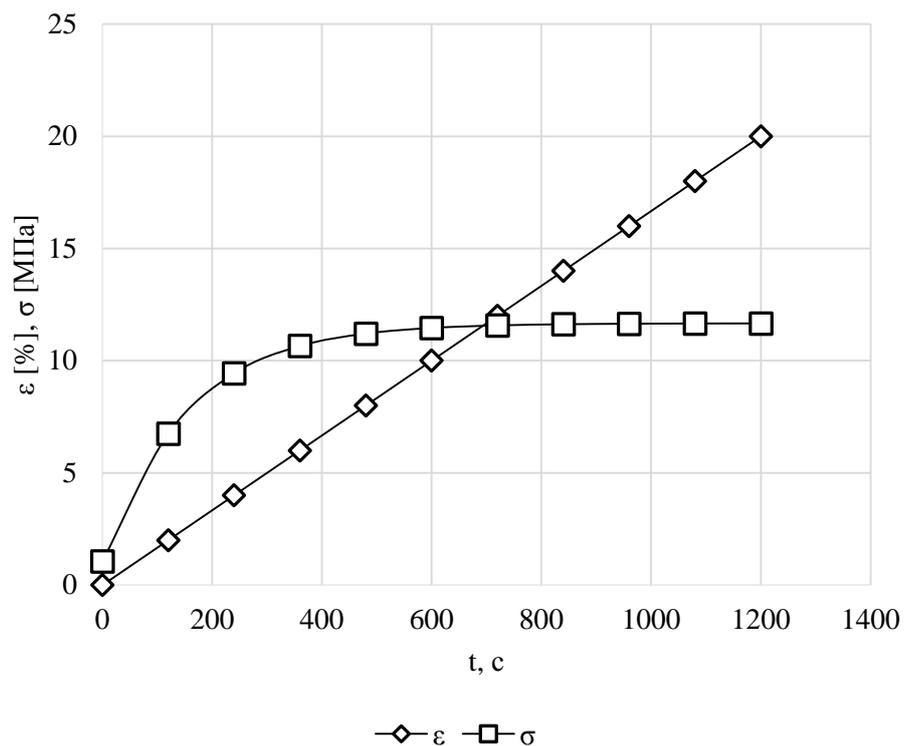


Рис. 2. Развитие деформаций и напряжения по времени при постоянной скорости прессования, время прессования 20 минут, относительная деформация заготовки 20 %

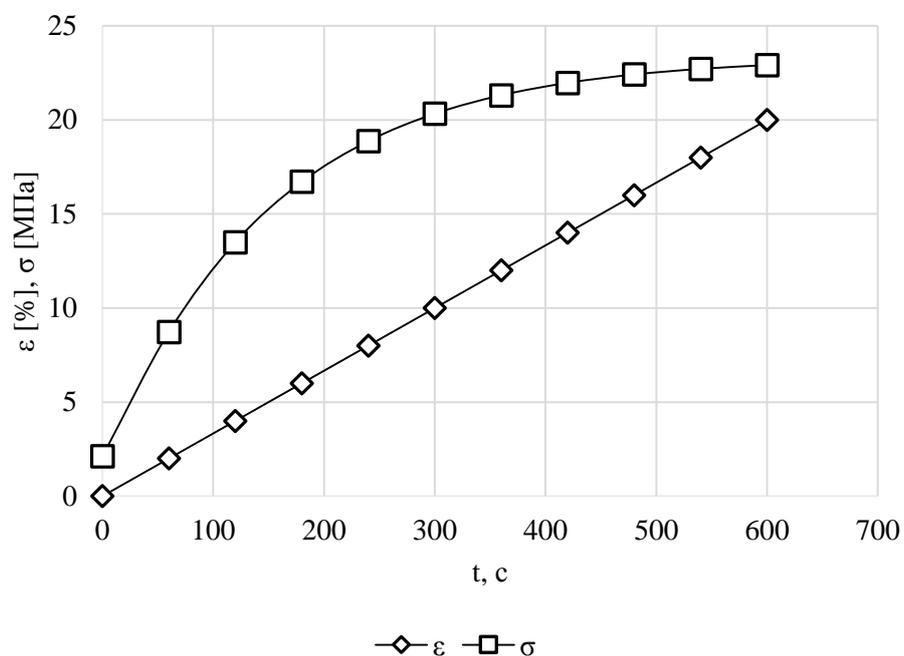


Рис. 3. Развитие деформаций и напряжения по времени при постоянной скорости прессования, время прессования 10 минут, относительная деформация заготовки 20 %

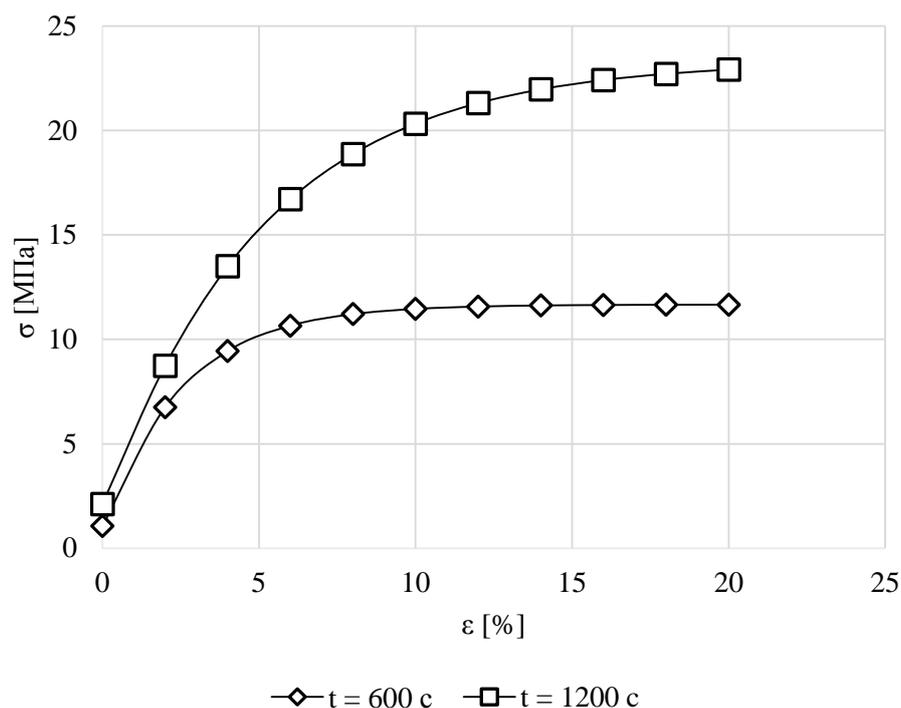


Рис. 4. Взаимосвязь деформаций и напряжения по времени при постоянной скорости прессования, относительная деформация заготовки 20 %

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бленд Д.Р.* Теория линейной вязкоупругости. М.: Мир, 1965. 390 с.
2. *Шамаев В.А.* Модифицирование древесины / В.А. Шамаев, Н.С. Никулина, И.Н. Медведев. М.: Наука: Флинта, 2013. 456 с.

A REFINED MATHEMATICAL MODEL OF WOOD PRESSING

S.V. KUCHER¹, E.G. HITROV², V.A. SOKOLOVA³

¹ Saint Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov (i.p.kucher@yandex.ru)

² Saint Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov (yegorkhitrov@gmail.com)

³ Saint Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov (sokolova_vika@inbox.ru)

The article proposes solution of differential equation of the Burgers body rheology, obtained with respect to compression stress at a constant speed. The results show that in a material with rheology described by the Burgers model there is a section of the stress-strain curve on which the stress is almost directly proportional to the deformation, and the bond is preserved up to pressing the workpiece by 5–10 %. The coefficient of proportionality in this section depends on both the speed and the final degree of pressing.

ИЗМЕНЕНИЕ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА И ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ В ПРОЦЕССЕ НАГРЕВАНИЯ В ИНЕРТНОЙ СРЕДЕ

А.Б. ЛЕВИН, В.Г. МАЛИНИН, А.В. ХРОМЕНКО, Г.Н. АФАНАСЬЕВ

Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Мытищи, Россия (nivel2001@mail.ru)

Интерес к трансформации древесины при нагревании в инертной среде в последнее десятилетие возрос в связи широким использованием торрефикации в технологии производства пеллет (древесных топливных гранул). Торрефикация состоит в умеренном (не более 300...350 °С) нагревании измельченной древесины в течение более или менее длительного времени в инертной среде. Считается, что таким способом можно получить более эффективное топливо, так как относительное увеличение теплоты сгорания может оказаться больше, чем относительное уменьшение массы. Накоплен значительный экспериментальный материал, но общего взгляда на проблему не выработано.

В настоящей работе предлагается рассмотреть процесс торрефикации под углом зрения, представленным А.Б. Левиным на научно-технической конференции МГУЛ в 2012 г. и опубликованном в ряде изданий [1, 2, 3].

Идея обобщающего подхода сводится к следующим положениям.

А. Сухая обеззоленная масса древесины может быть представлена как некое условное вещество с химической формулой $C_6H_9O_4$. Отметим, что такая же формула использована в работе [4].

В. Для сухой обеззоленной массы древесины выход летучих составляет 85,5 %. Соответственно относительная масса углеродного остатка по окончании процесса деструкции равна 14,5 %.

С. В состав сухой обеззоленной массы древесины входят только углерод (массовая доля 49,7 %), водород (6,2 %) и кислород (44,1 %). Для термически необработанной древесины атомное отношение $(O/C) = 2/3$; атомное отношение $(H/C) = 3/2$. По окончании процесса термической деструкции $(O/C) = (H/C) = 0$.

Д. Древесное вещество при изобарном нагревании в инертной среде всегда проходит последовательно через одни и те же состояния. Это положение было предложено Ван Кревеленом [5]. Графически оно представлено известной диаграммой Ван Кревелена. Линия функции $(H/C) = f(O/C)$ может быть названа *кривой метаморфоза* древесины.

Е. Высшая теплота сгорания может быть рассчитана для исходной древесины, углерода по окончании процесса термической деструкции и любого промежуточного состояния по формуле Менделеева [6]

$$Q_s^{daf} = 339,5C^{daf} + 1256H^{daf} - 108,8O^{daf}, \text{ кДж/кг.} \quad (1)$$

Траектория изменения элементного состава древесной биомассы (кривая метаморфоза древесины при нагреве), построенная по опытным данным [7, 8, 9] и представленная на рис. 1, может быть описана с погрешностью, не превышающей погрешности исходных данных, уравнением

$$(O/C) = 0,2253 \cdot (H/C)^2 + 0,125 \cdot (H/C). \quad (2)$$

По более чем полувековой традиции в диаграмме Ван Кревелена на оси абсцисс откладывают значения (O/C) , а по оси ординат – (H/C) .

В этом случае уравнение $(H/C) = f(O/C)$ должно иметь вид:

$$(H/C) = (-0,125 + (0,125^2 + 4 \cdot 0,2253 \cdot (O/C))^{0,5}) / (2 \cdot 0,2253). \quad (3)$$

Сравнение расчета по (3) с опытными данными, приведенными в обзоре [10] и не использовавшимися при выводе этой зависимости, представлены на рис. 2,

а положение кривой метаморфоза древесины на диаграмме Ван Кревелена – на рис. 3.

Диаграмма Ван Кревелена графически представляет изменение элементного состава твердых ископаемых топлив в зависимости от их «геологического возраста».

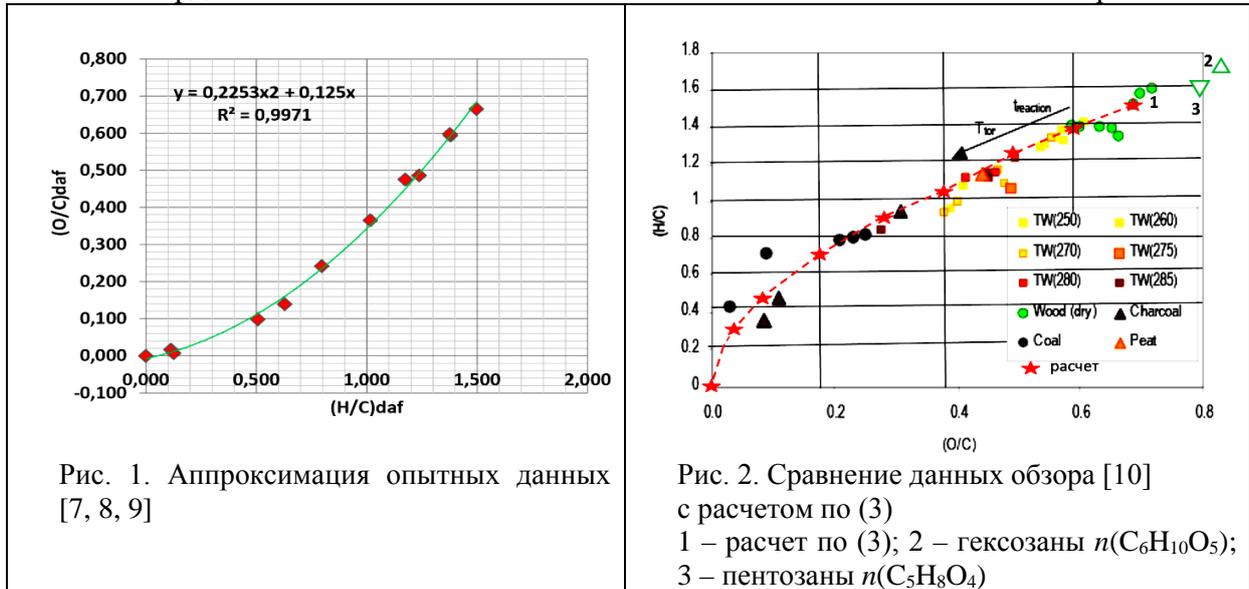


Рис. 1. Аппроксимация опытных данных [7, 8, 9]

Рис. 2. Сравнение данных обзора [10] с расчетом по (3)
1 – расчет по (3); 2 – гексозаны $n(C_6H_{10}O_5)$; 3 – пентозаны $n(C_5H_8O_4)$

Существенное различие элементного состава древесного угля и каменных углей, заметное при $(O/C) < 0,2$, можно объяснить тем, что древесный уголь образуется при атмосферном давлении, которое на несколько порядков меньше, чем давление в процессе метаморфизма, результатом которого являются каменные угли и антрацит. В то же время температура в этих процессах значительно ниже, чем та, при которой возможно окончание термической деструкции древесной биомассы. Интересно, что это обстоятельство не так ярко проявлено в области лигнитов, в русскоязычных источниках обычно называемых бурными углями.

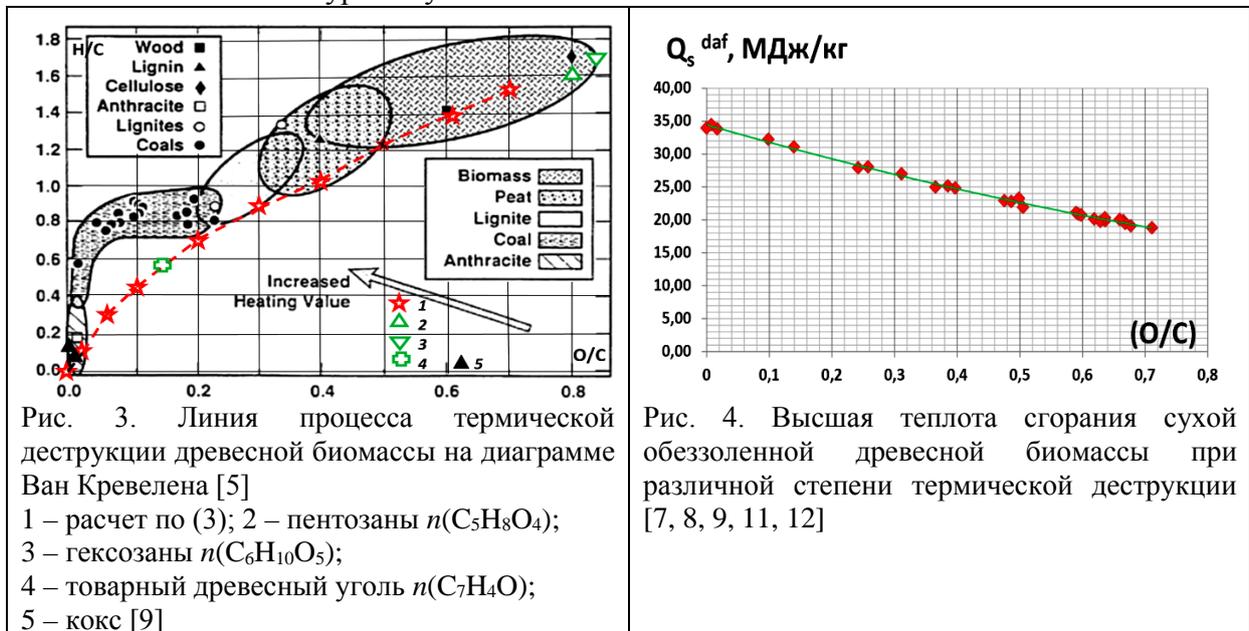


Рис. 3. Линия процесса термической деструкции древесной биомассы на диаграмме Ван Кревелена [5]
1 – расчет по (3); 2 – пентозаны $n(C_5H_8O_4)$; 3 – гексозаны $n(C_6H_{10}O_5)$; 4 – товарный древесный уголь $n(C_7H_4O)$; 5 – кокс [9]

Рис. 4. Высшая теплота сгорания сухой обеззоленной древесной биомассы при различной степени термической деструкции [7, 8, 9, 11, 12]

Опытные данные о значении высшей теплоты сгорания заимствованы из работ [7, 8, 9, 11, 12], в которых исследовались образцы древесной биомассы различных пород – это смесь канадских хвойных, ива, сосна, дуб, береза, смеси пород из США и смеси пород из РФ при различной продолжительности выдержки и различных температурах. Эти данные дополнены значениями высшей теплоты сгорания углерода (состояние по окончании процесса выхода летучих, $(O/C) = 0$) $Q_s^{daf} = 33,95$ МДж/кг ,

высшей теплоты сгорания термически необработанной древесины $Q_s^{daf} = 19,86$ МДж/кг при $(O/C) = 2/3$ и теплоты сгорания товарного древесного угля $Q_s^{daf} = 30,49$ МДж/кг при $(O/C) = 1/7$. Все точки хорошо описываются, как это видно из рис. 4, линейной зависимостью

$$Q_s^{daf} = -21,19 \cdot (O/C) + 33,95, \text{ МДж/кг.} \quad (12)$$

Соответственно, тепловой коэффициент конверсии [3]

$$\eta_q = -1,067 \cdot (O/C) + 1,71. \quad (5)$$

Опытные данные по выходу летучих для древесной биомассы при различных значениях отношения (O/C) немногочисленны. Однако вид зависимости выхода летучих из твердого остатка для промежуточных значений всего диапазона возможных значений $0 \leq (O/C) \leq 0,667$ с достаточной точностью может быть получен из следующих более или менее очевидных соображений.

А. При $(O/C) = 2/3$ (термически необработанная древесная биомасса) $V^{daf} = 0,855$ и $\frac{\partial V^{daf}}{\partial (O/C)} = 0$;

В. При $(O/C) = 0$ (процесс выхода летучих завершен) $V^{daf} = 0$;

С. Функция $V^{daf} = f(O/C)$ монотонна, непрерывна и может быть представлена полиномом второй степени.

Тогда $V^{daf} = -1,933 \cdot (O/C)^2 + 2,571 \cdot (O/C)$. (6)

Имеющиеся опытные данные удовлетворительно совпадают с зависимостью (6), как это видно на рис. 5.

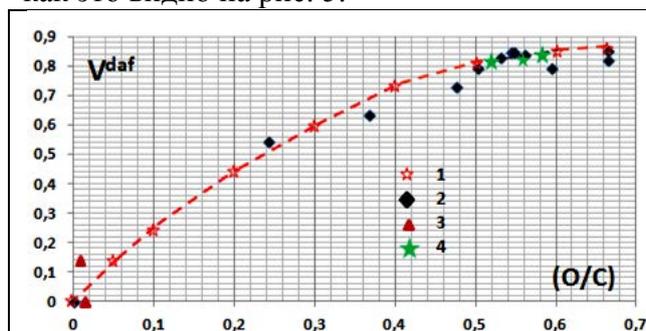


Рис. 5. Сравнение опытных данных с расчетом по (6)
1 – расчет по (6); 2 – данные [7, 13];
3 – данные [9]; 4 – данные [14],
цитируются по [13]

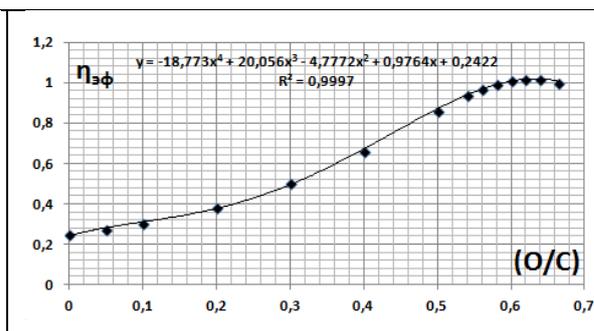


Рис. 6. Зависимость коэффициента эффективности конверсии от элементного состава древесной биомассы

Теперь можно найти массовый коэффициент конверсии для любого промежуточного состояния древесной биомассы как

$$\eta_g = \frac{0,145}{1 - (-1,933 \cdot (O/C)^2 + 2,571 \cdot (O/C))}. \quad (7)$$

Вычислив значения коэффициента эффективности конверсии $\eta_{эф} = \eta_q \cdot \eta_g$ для различных значений (O/C) в интервале от 0 до 0,667, получим график его зависимости от атомного отношения (O/C) , который представлен на рис. 6. Можно заметить, что значение $\eta_{эф}$ сохраняется около 1,0 при значениях (O/C) от 0,667 до 0,58, а при значении 0,62 равно 1,02. При дальнейшем уменьшении отношения (O/C) происходит падение $\eta_{эф}$ до 0,248 при $(O/C) = 0$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Левин А.Б. Интегральная оценка эффективности производства жидкого топлива из древесной биомассы методом быстрого пиролиза // Строение, свойства и качество древесины – 2014. Материалы V Междунар. симпозиума РКСД. М.: МГУЛ, 2015. 232 с.
2. Левин А.Б., Афанасьев Г.Н. Энергетический и материальный баланс процесса производства жидкого топлива из древесной биомассы методом быстрого пиролиза. Труды Междунар. симпозиума «Надежность и качество». Т. 2. Изд-во ПГУ, 2017. С. 286.
3. Левин А.Б., Малинин В.Г., Хроменко А.В., Афанасьев Г.Н. Изменение теплотехнических свойств древесины при торрефикации // The scientific heritage (Budapest, Hungary). No 19 (19). Vol. 1. 2018. P. 47–59.
4. Bernical Q., Joulia X., Noirot-Le Borgne I., Floquet P., Baurens P., Boissonnet G. Sustainability Assessment of an Integrated High Temperature Steam Electrolysis-Enhanced Biomass to Liquid Fuel Process // Ind. Eng. Chem. Res. 2013. 52 (22). Pp. 7189–7195.
5. Van Krevelen D.W., Shuyer J. Coal science. Amsterdam, Princeton N.J.: Elsevier Pub. Co., 1957. 352 p.
6. Левин А.Б. Энергетическое использование древесной биомассы: учебник / А.Б. Левин, Ю.П. Семенов, В.Г. Малинин, А.В. Хроменко; под ред. А.Б. Левина. М.: ИНФРА-М, 2016. 199 с.
7. Peng J.H. A study of softwood torrefaction and densification for the production of high quality wood pellets // A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of doctor of philosophy in the Faculty of graduate studies (chemical and biological engineering) the University of British Columbia. Vancouver, July 2012.
8. Prins M. J., Ptasiński K. J., Janssen F. J. G. 2006b. Torrefaction of wood. Part 1. Weight loss kinetics. J. Anal. Appl. Pyrolysis. 77. 28–34.
9. Лавренов В.А. Экспериментальное исследование процесса двухстадийной термической конверсии древесной биомассы в синтез-газ. Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. М.: 2016. С. 13–14.
10. Bergman P.C.A., Boersma A.R., Kiel J.H.A., Prins M.J., Ptasiński K.J., Janssen F.G.G.J. Torrefaction for biomass co-firing in existing coal-fired power stations / ECN Report. ECN-C-05-013. 2005. Utrecht, Netherlands. P. 20.
11. Cholewiński M., Kamiński M. Torrefaction as a Means to Increase the use of Solid Biomass for Power Generation and Heating // Acta Energetica. 2/27 (2016). P. 60–67.
12. Medic D. Investigation of torrefaction process parameters and characterization of torrefied biomass. 2012. Graduate Theses and Dissertations. 12403. URL: <http://lib.dr.iastate.edu/etd/12403>.
13. Кузьмина Ю.С. Экспериментальное исследование процесса низкотемпературного пиролиза (торрефикации) гранулированного биотоплива. Дисс. ... канд. техн. наук. М.: ФГБУН «Объединенный институт высоких температур РАН». 2016. 147 с.
14. Bridgeman T.G., Jones J.M., Shield I., Williams P.T. Torrefaction of reed canary grass, wheat straw and willow to enhance solid fuel qualities and combustion properties // Fuel. 2008. V. 87. P. 844–856.
15. Ермоченков М.Г. Прогнозирование свойств термически модифицированной древесины. М.: Горячая линия – Телеком, 2017. 220 с.

CHANGING OF ULTIMATE ANALYSIS AND ENERGY PROPERTIES OF WOOD AT HEATING IN AN INERT MEDIUM

A.B. LEVIN, V. G MALININ, A.V. KHROMENKO, G.N. AFANASYEV

Mytishchi branch of MSTU named after N.E. Bauman, Mytishchi, Russia (nivel2001@mail.ru)

The changing of the ultimate analysis of a wood substance under thermal degradation in an inert medium is considered. A function for the destruction curve in the Van Krevelen diagram is proposed. Dependences of the high heat value, the yield of volatile and relative mass of the solid residue are proposed too. It is shown that in the range from 0,667 to 0,58 of atomic ratio O/C there is a maximum of conversion efficiency coefficient.

СТРУКТУРА ДРЕВОСТОЕВ СОСНЫ И АНАТОМИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ГОДИЧНЫХ СЛОЕВ

В.Д. ЛОМОВ

Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Мытищи, Россия (lomov @mgul.ac.ru)

Предметом исследований послужили опытные экспериментальные лесные культуры сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), произрастающие в Щелковском учебно-опытном лесхозе Мытищинского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана. Место их расположения характеризуется однородностью по рельефу (он равнинный) и почвенно-грунтовым условиям. Тип лесорастительных условий – свежая сложная суборь (С₂). Почвы – дерново-среднеподзолистые на моренном суглинке.

Объект представляет собой единый компактный массив 50-летнего искусственного насаждения сосны, состоящий из четырех опытных секций, каждая из которых создавалась квадратной посадкой 2-летних сеянцев с различной густотой посадки и различным размещением лесокультурных посадочных мест. Это секция со следующими характеристиками густоты посадки на момент закладки экспериментальных посадок (созданы 2-летними сеянцами): 4,4 тыс. экз. на 1 га (1,5x1,5); 6,4 тыс. экз. на 1 га (1,25x1,25); 10,0 тыс. экз. на 1 га (1,0x1,0); 20,0 тыс. экз. на 1 га (0,7x0,7). Постоянной величиной для всей секции является индекс равномерности (I_p), равный единице. Эти опытные культуры ценны тем, что в них на протяжении 50 лет не проводились рубки ухода; в них шел процесс естественного отпада отмирающих деревьев, проигравших естественный отбор.

Таблица 1. Таксационные показатели 50-летних культур сосны обыкновенной в зависимости от густоты посадки

| Первоначальная густота посадки, сеянцев тыс. шт./га | Размещение посадочных мест, м x м | Средние | | Класс бонитета | Густота стояния деревьев в настоящее время, шт./га | Сумма площадей сечений, м ² /га | Запас стволной древесины, м ³ /га |
|---|-----------------------------------|-----------|-------------|----------------|--|--|--|
| | | Высота, м | Диаметр, см | | | | |
| 4,4 | 1,5x1,5 | 22,5 | 21,3 | Ia | 926 | 33,1 | 335 |
| 6,4 | 1,25x1,25 | 22,0 | 20,2 | I | 1125 | 36,1 | 365 |
| 10,0 | 1,0x1,0 | 21,9 | 19,6 | I | 1267 | 38,2 | 390 |
| 20,0 | 0,7x0,7 | 21,2 | 19,1 | I | 3074 | 44,6 | 437 |

Наиболее сильный отпад произошел в самых густых культурах сосны: в них отпало 85 % некогда высаженных сосенок. К 50-летнему возрасту разница в численности растений сильно сократилась. Так, если на момент посадки между крайними вариантами она в абсолютной величине составляла 15 600 экземпляров, то в

50 лет – 2048 (табл. 1). По показателям роста и по классу бонитета лучшее состояние имеют культуры с густотой посадки 4,4 тыс. шт./га. Однако по запасу древесины лидируют самые густые культуры. Достигается это за счет повышенной густоты стояния.

Прирост деревьев и древостоев, ширина годичных слоев и их структура, а следовательно, и качество древесины определяются деятельностью камбия [1, 2, 3, 4]. С этих позиций было исследовано анатомическое строение древесины сосны, сформировавшейся за последние пять лет [7], с учетом целенаправленного формирования древостоев с помощью лесоводственных систем [5] (табл. 2).

Как видно из этой таблицы, густота посадки культур сосны существенно влияет на ширину годичных слоев древесины. С увеличением густоты посадки с 4,4 тыс. шт./га до 20 тыс. шт./га ширина годичных слоев уменьшилась с 0,64–1,04 мм до 0,36–0,54 мм. Сказалось влияние густоты и на проценте поздней древесины: с увеличением густоты он увеличился с 20–26 % до 28–51 %. Наибольший процент поздней древесины мы наблюдаем у деревьев сосны в культурах с густотами посадки 10 и 20 тыс. сеянцев на 1 га.

Таблица 2. Анатомическое строение годичных слоев древесины сосны в насаждениях разной густоты посадки

| Первоначальная густота посадки, сеянцев тыс. шт./га | Размещение посадочных мест, м x м | Средняя ширина годичных слоев, мм (средняя за 5 последних лет) | Ширина поздней древесины в годичных слоях, мм (средняя за 5 последних лет) | Процент поздней древесины в годичных слоях, мм (средний за 5 последних лет) | Радиальная толщина оболочек поздних трахеид, мкм (средняя за 5 последних лет) |
|---|-----------------------------------|--|--|---|---|
| 4,4 | 1,5 x 1,5 | 0,79 | 0,16 | 20 | 3,9 |
| 6,4 | 1,25 x 1,25 | 0,75 | 0,26 | 34 | 4,7 |
| 10,0 | 1,0 x 1,0 | 0,63 | 0,31 | 49 | 6,0 |
| 20,0 | 0,7 x 0,7 | 0,41 | 0,20 | 43 | 4,9 |

Важную механическую функцию несет в себе такой анатомический показатель, как радиальная оболочка поздних трахеид. С увеличением густоты от 4,4 тыс. шт./га до 10 тыс. шт./га толщина оболочек увеличилась с 3,8–4,1 мкм до 6,0–6,7 мкм. Затем с увеличением густоты с 10 тыс. шт./га до 20 тыс. шт./га толщина оболочек поздних трахеид уменьшилась до 4,9–5,2 мкм.

С увеличением густоты посадки с 4,4 тыс. шт./га до 20,0 тыс. шт./га ширина годичных слоев уменьшилась с 0,64–1,04 мм до 0,36–0,54 мм, почти вдвое.

По этим данным можно сделать вывод, что густота посадки также влияет и на процент поздней древесины, т. е. с увеличением густоты он увеличивается с 20–26 % до 28–51 %. А наибольший процент поздней древесины наблюдается у деревьев сосны в культурах с густотами посадки 10,0 и 20,0 тыс. шт./га.

Таким образом, по результатам данных исследований, наиболее качественная древесина формируется в древостоях с густотой посадки 10 тыс. шт./га. При такой густоте в годичных слоях древесины зафиксирован наибольший процент поздней древесины и наибольшая толщина оболочек поздних трахеид. Этот вывод подтверждает результаты ранее проведенных исследований А.М. Пинчука и В.Д. Ломова (1973) [6], выполненных в более молодых культурах Серебряноборского опытного лесничества лаборатории лесоведения АН СССР.

Культуры сосны с густотой посадки 10 тыс. экз. на 1 га целесообразно выращивать в лесах интенсивного ведения лесного хозяйства (защитные и эксплуатационные леса), где важно получение большого количества древесины с повышенными физико-механическими свойствами (наибольший процент поздней древесины с наиболее толстыми оболочками поздних трахеид). Для лесопарковых насаждений и зеленых зон защитных лесов можно рекомендовать пониженную густоту посадки, при которой технические свойства древесины отходят на второй план. Так, в наших исследованиях самая активная работа камбия по формированию максимально широкого годичного слоя зафиксирована в культурах с густотой посадки 4,4 тыс. экз. на 1 га. Эти же культуры к 50 годам дали насаждение с самыми крупными стволами и имели самую большую сохранность древостоев.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мелехов И.С. Лесоводство. М.: МГУЛ, 2005. 322 с.
2. Обьедённых В.И., Коротков С.А., Ломов В.Д., Волков С.Н. Лесоводство. Учебник для направления подготовки 35.03.01 «бакалавр лесного дела». М.: ФГБОУ ВПО МГУЛ, 2015. 272 с.
3. Обьедённых В.И., Ломов В.Д. Лесоводство. Учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки дипломированных специалистов по специальности 250401 «Лесоинженерное дело» / М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования «Московский гос. ун-т леса». М., 2011. 282 с.
4. Обьедённых В.И., Ломов В.Д., Титов А.П. Лесоводство. Учебное пособие для студентов специальностей 080502 «Экономика и управление на предприятии (по отраслям)» и 080102 «Мировая экономика» / Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования «Московский гос. ун-т леса». М., 2007. 198 с.
5. Обьедённых В.И., Ломов В.Д., Волков С.Н. Особенности организационно-технических элементов лесоводственных систем // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2016. Т. 20. № 5. С. 38–44.
6. Пинчук А.М., Ломов В.Д. Влияние густоты сосновых молодняков на анатомические показатели древесины и накопление органической массы. М.: Научные труды Московского лесотехнического института. 1973. № 49. С. 38–42.
7. Эсау К. Анатомия растений. М.: Изд-во «Мир», 1969. 660 с.

STRUCTURE OF PINE STANDS AND ANATOMICAL STRUCTURE OF ANNUAL LAYERS

V.D. LOMOV

Mytishchi branch of MSTU named after N.E. Bauman, Mytishchi, Russia (lomov@mgul.ac.ru)

Culture pine with planting density of 10 thousand copies per 1 ha it is advisable to grow in the forests of commercial value where is the place the importance of producing wood with high physical-mechanical properties. For forest plantations and forests of green zones it is possible to recommend a lower planting density. So in our studies, the activity of cambium in the formation of the broadest possible annual layers recorded in cultures with planting density of 4,4 thousand individuals per 1 ha. The same culture to 50 years given the planting with the largest guns and had the greater preservation of the forest.

ГИГРОСКОПИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСИНЫ ОСНОВНЫХ ЛЕСООБРАЗУЮЩИХ ПОРОД СРЕДНЕЙ СИБИРИ

С.Р. ЛОСКУТОВ, О.А. ШАПЧЕНКОВА, А.А. АНИСКИНА

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (lsr@ksc.krasn.ru)

Знание гигроскопических свойств материалов имеет большое практическое значение. В частности, для набухающих полимерных систем, таких как древесинное вещество, гидрофильность (гидрофобность) в значительной степени определяет физико-механические свойства, устойчивость к биодеградации, термостабильность, режимы глубокой сушки, методы модифицирования и т. п. Поскольку древесина различных пород, заготавливаемых в одной и той же ботанико-географической зоне, имеет, как правило, разный химический состав и, следовательно, разное «соотношение гидрофильности и гидрофобности», постольку и гигроскопичность древесины может быть неодинакова. В связи с этим целью нашего исследования было охарактеризовать гигроскопичность древесины основных лесобразующих пород Сибири на основе данных по изотермической сорбции влаги древесиной и термического анализа серии образцов древесины лиственницы (*Larix sibirica* Ledeb.), сосны (*Pinus sylvestris* L.), ели (*Picea obovata* Ledeb.), пихты (*Abies sibirica* Ledeb.), березы (*Betula pendula* Roth.), осины (*Populus tremula* L.).

В настоящее время известно около 100 уравнений, используемых при анализе данных о сорбции различными материалами: древесиной, синтетическими и природными полимерами, различными волокнистыми материалами, твердыми телами неорганической природы, пищевыми продуктами. Ван ден Берг [7] выделил четыре основные группы, включающие уравнения, полученные на базе конкретных физических моделей сорбции (теории локализованной монослойной сорбции; полимолекулярной (полислойной) сорбции; так называемые растворные модели), и эмпирические уравнения. Многие из этих уравнений математически идентичны друг другу, хотя имеют различные физические предпосылки.

Нами проанализировано несколько десятков изотерм сорбции паров различных низкомолекулярных жидкостей (включая воду) древесиной. На основе этого анализа выбран ряд моделей сорбции, которые, по нашему мнению, наиболее «чувствительны» к различиям в строении древесинного вещества, что позволяет установить индивидуальные характеристики (сходство или различия) гигроскопических свойств древесины той или иной породы, заготавливаемой в Сибири.

Показатели гигроскопичности, установленные по моделям сорбции, дополнены результатами анализа неизотермической сушки древесины с помощью методов термогравиметрии (ТГ/ДТГ) и дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК).

Образцы древесины лиственницы, сосны, ели, пихты, березы и осины заготовлены в одной ботанико-географической зоне Красноярского края (Красноярская лесостепь, насаждения II–III классов возраста) и подготовлены для анализа по методу, рекомендуемому в работе [1]. В экспериментах использовали измельченную древесину – фракция ~ 0,1–0,3 мм.

Изотермы сорбции воды древесиной получены по методу [4] при температуре $20 \pm 1,5$ °С. Термогравиметрия и дифференциальная сканирующая калориметрия осуществлены с помощью приборов TG 209 F1 и DSC 204 F1 (NETZSCH, Германия) соответственно. Образцы древесины, кондиционированные до постоянной влажности при температуре $(20 \pm 1,5)$ °С и относительной влажности воздуха $50 \div 55$ %, проанализированы в атмосфере воздуха при следующих условиях. ТГ: скорость нагрева

10, 20 и 40 °С · мин⁻¹ от 25 до 700 °С, скорость потока защитного и продувочного газов 20 мл · мин⁻¹; масса образца 3,38–8,93 мг, тигель Al₂O₃ цилиндрической формы. ДСК: скорость нагрева 10 и 40 °С · мин⁻¹ от 25 до 590 °С, скорость потока защитного и продувочного газов 40 мл · мин⁻¹; масса образца 1,05–1,38 мг, тигель алюминиевый с перфорированной крышкой; эталон – пустой алюминиевый тигель.

Анализ кинетики сушки древесины разных пород проводили на основе термогравиметрических данных с использованием кинетической модели Бройдо [3] и метода Озавы – Флинна – Уолла (ОФУ) [6]. Расчеты осуществлялись в программных средах Excel 2007 и TablCurve 2D v. 5.01.

В табл. 1 представлены использованные нами модели сорбции, выбор которых обусловлен тем, что в их основе лежат четкие физические представления о взаимодействии сорбата и сорбента. В табл. 2 показаны результаты анализа изотерм сорбции воды древесиной «сибирских» пород, а в табл. 3 – некоторые данные термогравиметрии и дифференциальной сканирующей калориметрии. На рисунке представлена зависимость энергии активации при неизотермической десорбции влаги из образцов древесины исследованных пород, рассчитанная по методу ОФУ.

Таблица 1. Перечень моделей (уравнений) сорбции, использованных для анализа сорбции воды древесиной

| Название модели | Уравнение |
|---|--|
| Брунауэра – Эммета – Теллера (БЭТ) | $h/u(1-h) = 1/u_m C + h(C-1)/u_m C;$ |
| Френкеля – Холси – Хилла (ФХХ) | $\ln(1/h) = b(u_m/u)^{\delta};$ |
| Цимма – Лундберга (ЦЛ) | $c \cdot G_{11} = (1 - \phi_1)(\partial \ln \phi_1 / \partial \ln h);$ |
| Теория объемного заполнения микропор (ТОЗМ) | $a = a_0 \cdot \exp[-(-\Delta G/E_c)^n]$ |

Примечание. Величины, входящие в уравнения, и их физический смысл описаны в [2].

Таблица 2. Показатели гигроскопических свойств древесины лиственницы, сосны, ели, березы и осины

| Порода древесины | u _m , % (БЭТ) | S _{уд.} , м ² /г СВ (БЭТ) | Начало образования кластеров воды в древесине при: (ЦЛ) | | u _{пр} , % при h = 0,980 | ФР (ФХХ) | E _c Дж/моль (ТОЗМ) |
|------------------|--------------------------|---|---|------|-----------------------------------|----------|-------------------------------|
| | | | u _h , % | h | | | |
| Лиственница | 5,24 | 189,4 | 9,80 | 0,66 | 23,80 | 2,71 | 755 |
| Сосна | 4,78 | 172,6 | 11,75 | 0,77 | 22,34 | 2,76 | 1092 |
| Ель | 4,69 | 169,4 | 11,30 | 0,76 | 21,48 | 2,76 | 1088 |
| Пихта | 5,22 | 188,4 | 11,33 | 0,78 | 22,54 | 2,71 | 749 |
| Береза | 4,81 | 173,9 | 10,77 | 0,77 | 22,10 | 2,70 | 840 |
| Осина | 4,82 | 174,2 | 10,37 | 0,77 | 21,29 | 2,72 | 859 |

Примечание. u_m – емкость условного монослоя сорбированной воды, S_{уд.} – условная внутренняя удельная поверхность сухой древесины, u_h и h – влажность и относительное давление водяного пара соответственно, ФР – фрактальная размерность «сорбционной поверхности», E_c – характеристическая энергия сорбции.

Из анализа изотерм сорбции влаги древесиной (табл. 2) вытекает следующее. Изменение емкости монослоя сорбированной воды при переходе от одной древесной породы к другой достигает ~12 %, что обусловлено различной долей и неодинаковой доступностью для молекул воды аморфных частей углеводного комплекса древесинного вещества исследованных пород. В этих же пределах изменяется и условная внутренняя удельная поверхность сухой древесины, так как S_{уд} прямо пропорциональна u_m. При этом образование водных кластеров в соответствии с теорией

Цимма – Лундберга [5] начинается при очень близких значениях относительного давления водного пара и соответствующем водосодержании, за исключением лиственницы. Эти показатели находятся в соответствии с вычисленной по модели ФХХ фрактальной размерностью «сорбционной поверхности» – практически одинаковой для древесины всех пород. Вместе с тем анализ изотерм сорбции влаги древесиной лиственницы, сосны, ели, пихты, березы и осины в рамках теории объемного заполнения микропор свидетельствует о существенно неодинаковой степени неравновесности структуры древесинного вещества разных пород: большому значению E_c отвечает «менее равновесная» структура с большими внутренними напряжениями (табл. 2).

Таблица 3. Параметры неизотермической сушки древесины, найденные в экспериментах по ТГ/ДТГ и ДСК

| Порода древесины | $\Delta t_c, ^\circ\text{C}$ | $t_{\max}, ^\circ\text{C}$ | ДТГ _{max} , %/мин | E_a , кДж/моль (Бройдо) | $t_{\min}, ^\circ\text{C}$ | $Q_{\text{исп}(1)}$, Дж/г | $Q_{\text{исп}(2)}$, кДж/г |
|------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| | Потеря влаги, % | | | | | | |
| Лиственница | 35 ÷ 191 | 92 | 0,45 | 38,1 | 69 | 133,2 | 3,09 |
| | 4,31 | | | | | | |
| Сосна | 35 ÷ 134 | 92 | 0,58 | 46,7 | 69 | 51,8 | 1,49 |
| | 3,47 | | | | | | |
| Ель | 35 ÷ 125 | 71 | 0,75 | 34,6 | 70 | 103,6 | 2,93 |
| | 3,53 | | | | | | |
| Пихта | 35 ÷ 140 | 87 | 0,72 | 47,8 | 62 | 107,9 | 2,77 |
| | 3,90 | | | | | | |
| Береза | 35 ÷ 120 | 71 | 0,66 | 35,0 | 66 | 141,1 | 4,08 |
| | 3,46 | | | | | | |
| Осина | 35 ÷ 120 | 73 | 0,55 | 35,8 | 68 | 130,8 | 4,06 |
| | 3,22 | | | | | | |

Примечание. Δt_c – температурный интервал сушки, t_{\max} – температура максимальной скорости потери влаги, ДТГ_{max} – максимальная скорость испарения влаги, E_a – энергия активации дегидратации древесины, рассчитанная по ТГ-кривым с помощью уравнения Бройдо, t_{\min} – температура минимума эндотермы сушки древесины (ДСК), $Q_{\text{исп}(1)}$ – тепловой эффект испарения влаги в опыте ДСК, отнесенный к единице массы влажного образца, $Q_{\text{исп}(2)}$ – тепловой эффект испарения влаги в опыте по ДСК, отнесенный к единице массы влаги, испарившейся при сушке в опыте по ДСК.

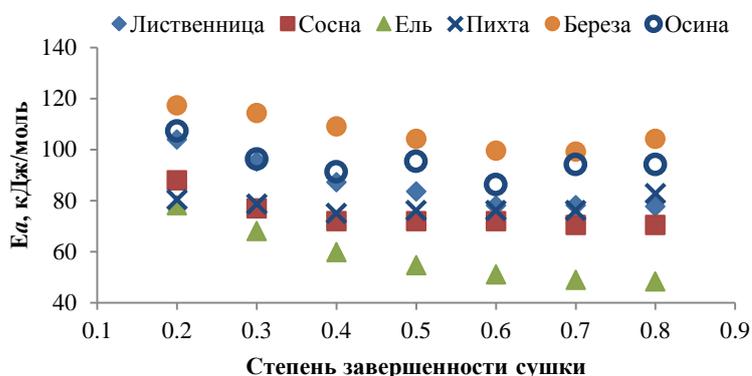


Рис. 1. Зависимость энергии активации удаления влаги из древесины при сушке в неизотермических условиях, рассчитанная на основе термогравиметрических данных по методу ОФУ

Параметры неизотермической сушки древесины (исходное водосодержание проанализированных образцов было около u_m , см. табл. 2 и 3) свидетельствуют о существенно различном состоянии влаги в древесине исследованных пород. Так, различие скорости потери влаги образцами древесины в термогравиметрическом опыте

достигает 40 % при температуре максимума ДТГ. (Следует отметить, что некоррелируемость t_{\max} и t_{\min} (табл. 3) в большей степени определяется неодинаковыми условиями протекания тепломассообмена в опытах по ТГ/ДТГ и ДСК, а не свойствами исследованных образцов древесины.) При этом максимальное различие энергии активации сушки (по Бройдо) составляет 27,6 %. По затратам энергии ($Q_{\text{исп}(2)}$, табл. 3) на удаление связанной влаги, отнесенной к единице массы испарившейся воды (в опыте по ДСК), древесные породы располагаются в ряду: сосна<пихта<ель<лиственница<осина<береза. Древесина сосны выделяется в этом ряду тем, что $Q_{\text{исп}(2)}$ меньше удельной теплоты испарения чистой воды. Это объясняется «разбавлением» испаряющейся воды летучими смолистыми веществами древесины, удельная теплота парообразования которых более чем на порядок ниже этого показателя для воды при соответствующей температуре.

Из анализа кинетики сушки по изоконверсионному методу ОФУ следует (рис. 1), что большими значениями энергии активации (при одной и той же степени завершенности процесса удаления влаги) характеризуется древесина с повышенным содержанием гемицеллюлоз: древесина березы, осины и лиственницы. Эти данные хорошо согласуются с теплотой испарения влаги, определенной с помощью метода ДСК.

Резюмируя изложенное, следует отметить, что новые фактические данные о гигроскопических свойствах древесины основных лесообразующих пород Средней Сибири могут быть использованы переработчиками древесины, заготавливаемой в данном регионе, с целью разработки и усовершенствования технологий глубокой сушки древесины, термического и химического модифицирования, защитной обработки для использования в строительстве и т. п.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы* / Оболенская А.В., Ельницкая З.П., Леонович А.А. М.: Изд-во «Экология», 1991. 320 с.
2. *Лоскутов С.Р.* Взаимодействие древесины с физически активными низкомолекулярными веществами. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. 171 с.
3. *Уэндландт У.* Термические методы анализа. М.: Изд-во «Мир», 1978. 526 с.
4. *Loskutov S.R.* Analysis of the wood sorption isotherm using the theory of micropore volume filling // *Holzforchung*. 2000. 54 (3): 301–304.
5. *Pérez-Alonso C., Fabela-Morón I M.F., Guadarrama-Lezamal A.Y., et al.* Interrelationship between the structural features and rehydration properties of spray dried manzano chilli sauce // *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 2009. 8 (2): 187–196.
6. *Poletto M., Dettenborn J., Pistor V., et al.* Materials produced from plant biomass. Part I: Evaluation of thermal stability and pyrolysis of wood // *Materials Res*. 2010. 13 (3): 375–379.
7. *Van den Berg C., Brain S.* Water activity and astringency in food system. Theoretical aspects // *Rockland L.B., Stewart G.F. (eds) Water activity. Influence on food quality*. N.-Y.: Academic Press, 1981. Pp. 1–61.

HYGROSCOPIC PROPERTIES OF WOOD OF THE MAIN TREE SPECIES OF CENTRAL SIBERIA

S.R. LOSKUTOV, O.A. SHAPCHENKOVA, A.A. ANISKINA

Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (lsr@ksc.krasn.ru)

This study aimed to characterize the hygroscopicity of wood from *Larix sibirica* Ledeb., *Pinus sylvestris* L., *Picea obovata* Ledeb., *Abies sibirica* Ledeb., *Betula pendula* Roth., and *Populus tremula* L. by method of resorption isotherms and thermal analysis (thermogravimetry, differential scanning

calorimetry). The values of the monolayer saturation water content (u_m), the specific internal surface ($S_{уд.}$), and characteristic sorption energy (E_a) indicated significant differences in water vapor sorption that reached 8,8 % (u_m , $S_{уд.}$) and 31,4 % (E_c) between wood of studied species. Generally, these parameters were confirmed by energy expenditures for desorption of bound water at non-isothermal drying. The woods of *Betula pendula* Roth., *Populus tremula* L, and *Larix sibirica* Ledeb. were characterized by higher values of 4.08, 4.06, and 3.09 kJ/g H₂O, respectively. The activation energy of wood drying process at non-isothermal conditions has been calculated by the isoconversional method. According to the value of the average activation energy, the tree species were found to be in the following order: *Betula pendula* Roth. > *Populus tremula* L. > *Larix sibirica* Ledeb. > *Abies sibirica* Ledeb. > *Pinus sylvestris* L. > *Picea obovata* Ledeb.

КОМПЛЕКСНАЯ СХЕМА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ХИМИЧЕСКИ МОДИФИЦИРОВАННОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ В КАЧЕСТВЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СОРБЕНТОВ

В.И. МАРКИН, И.Б. КАТРАКОВ, П.В. КОЛОСОВ, К.В. ГЕНЫШ

Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия (markin@chemwood.asu.ru)

Химическое модифицирование растительного сырья без предварительного разделения на отдельные компоненты в продукты с разнообразными полезными свойствами представляется нам одним из перспективных направлений химии древесины [1]. На кафедре органической химии занимаются исследованиями процессов и продуктов карбоксиметилирования растительного сырья без предварительного разделения на отдельные компоненты [2]. Полученные продукты обладают комплексом полезных свойств. В частности, они могут быть рекомендованы в качестве реагентов для приготовления промысловых жидкостей при бурении нефтяных и газовых скважин, регуляторов роста растений, сорбентов [2].

Цель настоящей работы – предложить комплексную схему использования карбоксиметилированного растительного сырья в качестве многофункциональных сорбентов.

Ранее было показано, что продукты карбоксиметилирования различных видов растительного сырья могут быть использованы в качестве сорбентов тяжелых металлов [3]. Однако при этом возникает проблема утилизации и переработки растительного сырья после его использования. С другой стороны, в настоящее время довольно остро стоит проблема сбора и утилизации нефтяных разливов. Ежегодно в мире происходит несколько десятков тысяч разливов нефти, при которых она попадает в водные акватории и почву. Поэтому одной из актуальных задач является разработка эффективных сорбентов нефти, которые не только эффективно обеспечивали бы сбор нефтяных загрязнений, но и легко подвергались утилизации, а в идеальном случае повторной эксплуатации.

В связи с этим нами предложена принципиальная схема (рис. 1), на которой представлены основные этапы использования продуктов карбоксиметилирования растительного сырья в качестве комплексных сорбентов тяжелых металлов и нефтепродуктов.

В результате карбоксиметилирования древесины (или растительного сырья недревесного происхождения) получают продукт с различным содержанием карбоксиметильных групп (КМГ), который используется в качестве сорбента тяжелых металлов (в частности, ионов железа II и III). Затем использованный сорбент подвергают карбонизации при 800 °С, в результате чего получают древесный уголь

с высоким содержанием железа. Этот уголь используют в качестве сорбента нефтепродуктов, который может быть регенерирован с помощью бактерий-нефтедеструкторов и использован повторно.

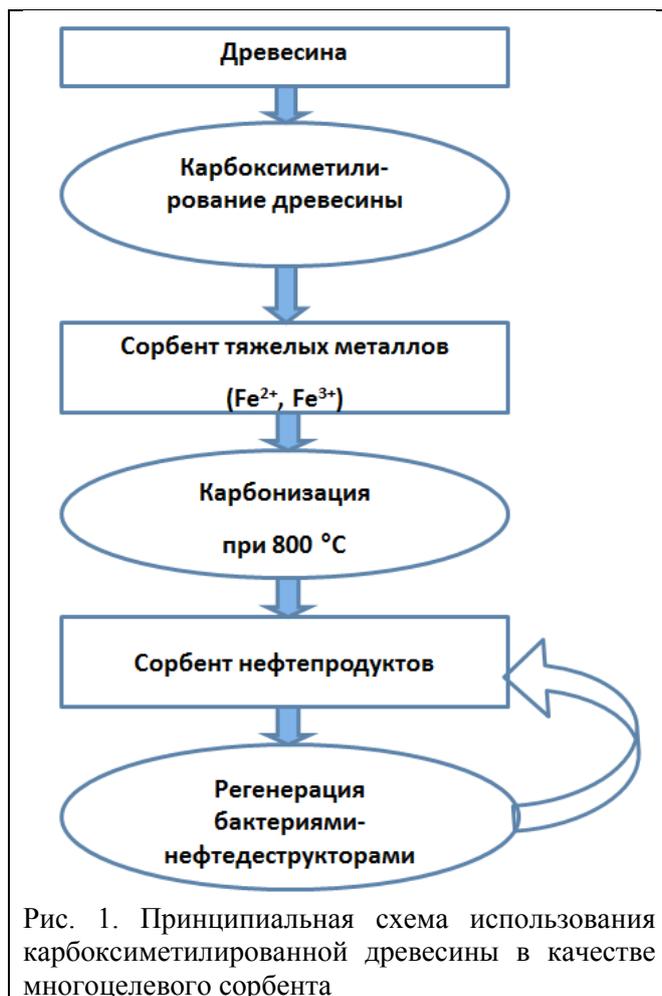


Рис. 1. Принципиальная схема использования карбоксиметилированной древесины в качестве многоцелевого сорбента

Для проверки данной схемы были получены образцы карбоксиметилированной древесины сосны [4] в различных условиях. В продуктах карбоксиметилирования определяли содержание КМГ [4], исследовали сорбционную емкость по отношению к ионам железа (III) [3]. Карбоксиметилированную древесину сосны карбонизировали в муфельной печи при 800 °C в течение 30 минут в среде азота. Продукты карбоксиметилирования до и после карбонизирования исследовали на нефтеемкость [5].

В табл. 1 представлены данные по содержанию КМГ в образцах карбоксиметилированной древесины сосны, полученной в различных условиях. В табл. 2 приведена их сорбционная емкость по отношению к ионам Fe (III) и нефти по сравнению с исходной древесиной.

Таблица 1. Условия процесса карбоксиметилирования и содержание карбоксиметильных групп (КМГ) в продуктах карбоксиметилирования древесины сосны

| Образец | Температура щелочной обработки, °C | Продолжительность щелочной обработки, ч | Температура стадии карбоксиметилирования, °C | КМГ, % |
|---------|------------------------------------|---|--|--------|
| 1 | 80 | 2 | 60 | 22,5 |
| 2 | 25 | 0,5 | 25 | 8,2 |

Примечание: продолжительность стадии карбоксиметилирования – 1 ч.

Таблица 2. Сорбционная емкость по отношению к ионам Fe (III) и нефтеемкость карбоксиметилированной и исходной древесины сосны

| Образец | Количество сорбированного Fe(III), %* | Нефтеемкость, г/г | Нефтеемкость после карбонизации, г/г |
|---------|---------------------------------------|-------------------|--------------------------------------|
| 1 | 74 | 6,5 | 8,5 |
| 2 | 27 | 6,1 | 7,3 |
| 3 | 13 | 3,0** | 6,3 |

Примечания: образец 3 – исходная древесина; * – доля сорбированного железа из раствора с содержанием Fe(III) 0,015 мг/мл; ** – исходная древесина сосны; НЕ – нефтеемкость, 1 г нефти / 1 г сорбента.

Как следует из данных, представленных в таблицах 1 и 2, продукты карбоксиметилирования древесины сосны, полученные в различных условиях, обладают разным содержанием КМГ, что значительно влияет на их сорбционную

емкость по отношению к ионам железа (III). При этом их нефтеемкость близка. Причем образец, содержащий большее количество карбоксиметильных групп, имеет более высокую нефтеемкость. Сравнение продуктов карбоксиметилирования с исходной древесиной сосны показывает, что карбоксиметилирование приводит к увеличению как сорбционной емкости по отношению к ионам железа (III), так и нефтеемкости. Сорбцию нефти и нефтепродуктов древесиной (или ее компонентами), а также продуктами ее модифицирования следует рассматривать как поглощение пористым полимерным сорбентом нефти и нефтепродуктов. Несмотря на то, что при карбоксиметилировании основных компонентов растительного сырья в состав продукта вводятся дополнительные полярные (карбоксиметильные) группировки, нефтеемкость образцов повышается. Можно сделать предположение, что наличие полярных групп приводит к увеличению свободного пространства в клеточной стенке за счет взаимного отталкивания между введенными карбоксиметильными группами и гидроксильными группами основных структурных компонентов растительного сырья, что способствует увеличению нефтеемкости материалов практически в 2 раза по сравнению с исходной древесиной.

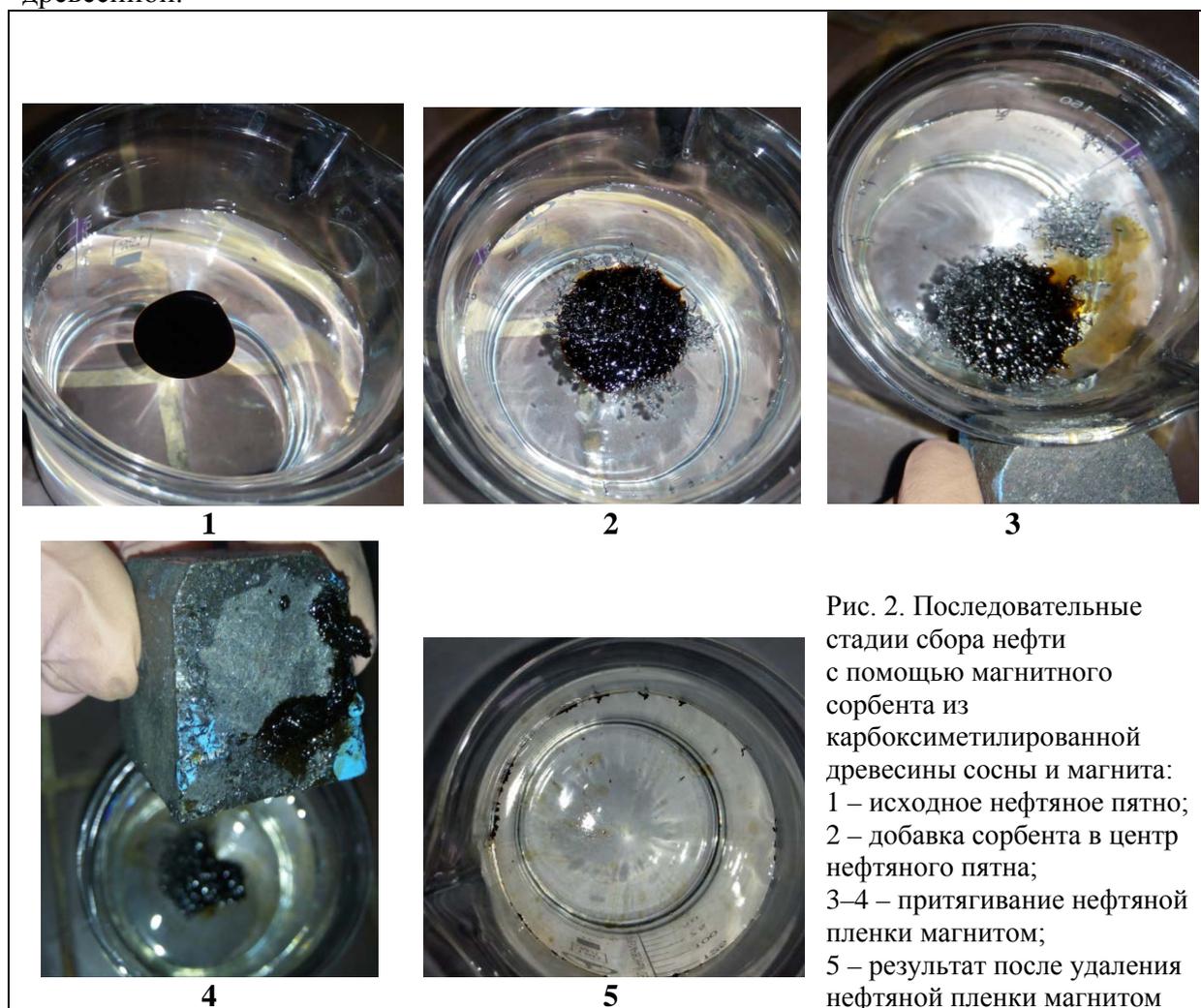


Рис. 2. Последовательные стадии сбора нефти с помощью магнитного сорбента из карбоксиметилированной древесины сосны и магнита: 1 – исходное нефтяное пятно; 2 – добавка сорбента в центр нефтяного пятна; 3–4 – притягивание нефтяной пленки магнитом; 5 – результат после удаления нефтяной пленки магнитом

В работе [6] предложено обрабатывать древесное сырье модификаторами, содержащими в своем составе соли металлов, обладающих парамагнитными свойствами, с целью дальнейшего получения из них «магнитных сорбентов». Показано, что, обладая нефтеемкостью 1,4–2,2 г/г, полученные образцы могут быть легко собраны с использованием магнитного поля, а затем направлены на дальнейшую переработку.

Карбонизация продуктов карбоксиметилирования растительного сырья после

сорбции ионов железа (III) приводит фактически к получению магнитных сорбентов. При этом их нефтеемкость выше, чем у образцов, не подвергнутых карбонизации.

На рис. 2 приведены фотографии процесса удаления нефтяного пятна с поверхности воды и последующий сбор сорбента магнитом. Следует отметить, что при изучении нефтесорбционной способности изучаемых сорбентов выяснилось: магнитные сорбенты образуют более устойчивую нетонущую структуру, которая формируется в виде крупных агрегатов, притягивающих к себе нефть. При воздействии на данную пленку магнитного поля масса нефти с сорбентом притягивается к его источнику, что значительно облегчает ее сбор.

Для проверки способности бактерий-нефтедеструкторов (*Rhodococcus equi*, *Micrococcus flavus*) к разложению нефти использовали карбоксиметилированную древесину сосны, полученную в различных условиях, после сбора нефти. Сорбент наносили на культуры бактерий, посеянных на агаризованные чашки Петри, и оставляли на несколько дней. Установлено, что нефтедеструкция происходит с разной скоростью в зависимости от слоя нефти. В среднем слой нефти за 3 дня уменьшался на 0,2 мм. В целом при создании соответствующих благоприятных условий для жизнедеятельности бактерий-нефтедеструкторов полученный сорбент может быть использован повторно.

Таким образом, предложена принципиальная схема комплексного использования карбоксиметилированной древесины в качестве сорбента тяжелых металлов (Fe (III)) и нефти.

ЛИТЕРАТУРА

1. Базарнова Н.Г., Маркин В.И., Колосов П.В., Катраков И.Б., Калюта Е.В., Чепрасова М.Ю. Методы получения лигноуглеводных композиций из химически модифицированного растительного сырья // Российский химический журнал. 2011. Т. LV. № 1. С. 4–9.
2. Маркин В.И. Карбоксиметилирование растительного сырья. Теория и практика. Барнаул: Изд-во АлтГУ, 2010. 167 с.
3. Колосов П.В., Маркин В.И., Базарнова Н.Г., Юсупов В.Р., Генералова Е.Н. Свойства продуктов карбоксиметилирования, полученных из древесины сосны, модифицированной раствором формальдегида в щелочной среде // Химия растительного сырья. 2009. № 3. С. 39–42.
4. Маркин В.И., Базарнова Н.Г., Галочкин А.И. Изучение влияния предобработки на карбоксиметилирование древесины березы в среде изопропилового спирта // Пластические массы. 1998. № 7. С. 31–34.
5. Чухарева Н.В., Рожкова Д.С., Хадкевич И.А. Исследование нефтеемкости верхового торфа по отношению к товарной нефти и газовому конденсату // Международный научно-исследовательский журнал. 2012. № 5–3. С. 132–134.
6. Цыганова С.И., Веприкова Е.В., Терещенко Е.А., Фетисова О.Ю. Синтез магнитных нефтесорбентов на основе модифицированных опилок древесины // Экология и промышленность России. 2014. № 6. С. 18–21.

COMPLEX SCHEME OF USE OF CHEMICALLY MODIFIED VEGETABLE RAW MATERIAL AS MULTIFUNCTIONAL SORBENTS

V.I. MARKIN, I.B. KATRAKOV, P.V. KOLOSOV, K.V. GENSH

Altai State University, Barnaul, Russia (markin@chemwood.asu.ru)

The paper proposes a basic scheme for obtaining multifunctional sorbents based on carboxymethylated wood. Sorbents have activity with respect to heavy metals (Fe (III)) and oil. They have magnetic properties, which facilitates their removal from the water surface.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПЛИТ МАЛОЙ ПЛОТНОСТИ ИЗ МЕХАНО-АКТИВИРОВАННЫХ ДРЕВЕСНЫХ ЧАСТИЦ БЕЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СВЯЗУЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

А.В. НАМЯТОВ¹, М.А. БАЯНДИН², С.Н. КАЗИЦИН³, В.Н. ЕРМОЛИН⁴

¹ СибГУ науки и технологий им. М.Ф. Решетнева, Красноярск, Россия (namyatov2010@yandex.ru)

² СибГУ науки и технологий им. М.Ф. Решетнева, Красноярск, Россия (mihailbayandin@yandex.ru)

³ СибГУ науки и технологий им. М.Ф. Решетнева, Красноярск, Россия (sergeikaz060890@yandex.ru)

⁴ СибГУ науки и технологий им. М.Ф. Решетнева, Красноярск, Россия (vnermolin@yandex.ru)

Плиты на основе древесины имеют целый ряд достоинств, и поэтому их широко применяют для разных целей. Плиты средней плотности (от 350 до 1000 кг/м³) – в качестве конструкционных и отделочных материалов, малой плотности (≤ 350 кг/м³) – в качестве тепло- и звукоизоляционных материалов. В большинстве случаев плиты представляют собой композиционные материалы. Формирование структуры плит происходит за счет использования синтетических адгезивов. Это создает экологические проблемы на всех этапах жизненного цикла таких материалов: производство – эксплуатация – утилизация. Вследствие этого актуальными являются исследования, направленные на поиск путей получения древесных плит без использования связующих веществ.

Известны технологии изготовления древесных плит без связующих веществ, основанные на использовании высоких давлений и температур. Полученные плиты имеют плотность не менее 1000 кг/м³, что крайне ограничивает сферу их применения. Как показали ранее проведенные нами исследования [1, 2], перспективным направлением получения плит средней плотности является предварительная гидродинамическая активация древесных частиц. В результате обработки получается однородная древесная масса, состоящая из частиц с большой удельной поверхностью. Из нее способом горячего прессования могут производиться древесные плиты средней плотности (800±150 кг/м³) без использования связующих веществ. Данные плиты при сопоставимой плотности не уступают по свойствам ДВП, MDF, ДСтП.

Большой интерес представляют древесные плиты малой плотности. Информации о подобных древесных плитах без использования связующих веществ в литературе не обнаружено. Формирование структуры таких плит является более сложной задачей, чем у плит средней плотности. Из-за малой плотности использовать внешнее давление, которое бы позволило принудительно сблизить древесные частицы и тем самым обеспечить возможность образования между ними контактов, нельзя. Возможным путем формирования структуры этих плит также может быть предварительная гидродинамическая активация древесных частиц. Для проверки этого предположения были проведены специальные исследования.

При проведении исследований использовались опилки древесины лиственницы сибирской (*Lárix sibirica*), полученные при распиловке круглых лесоматериалов на лесопильной раме Р63. До обработки частиц производилось их смешивание с водой из расчета концентрации опилок в гидромассе 10 %. Активация производилась с помощью лабораторного гидродинамического диспергатора роторно-пульсационного типа. Для оценки степени обработки древесной массы был принят показатель водоудерживающей способности – WRV, который определяется по методике Джайме [3]. После обработки производилось формование путем налива обработанной массы в специальную

металлическую форму с сетчатым дном. Для обезвоживания древесной массы производился механический отжим в холодном прессе с давлением 0,5 МПа. Заданная толщина плит составляла 50 мм. После этого плиты загружались в конвективную сушильную камеру. Процесс сушки осуществлялся при температуре 155 °С и скорости циркуляции сушильного агента 2,5 м/с. Конечная влажность плит составляла 4 %, плотность $\approx 250 \text{ кг/м}^3$. При данных условиях продолжительность сушки составила 11 часов. После сушки плиты выдерживались в условиях лаборатории. Определение механических свойств плит производилось по стандартным методикам, которые регламентируют испытания древесноволокнистых плит.

Результаты исследований влияния степени обработки древесной массы (WRV) на прочность при 10 % линейной деформации приведены на рис. 1.

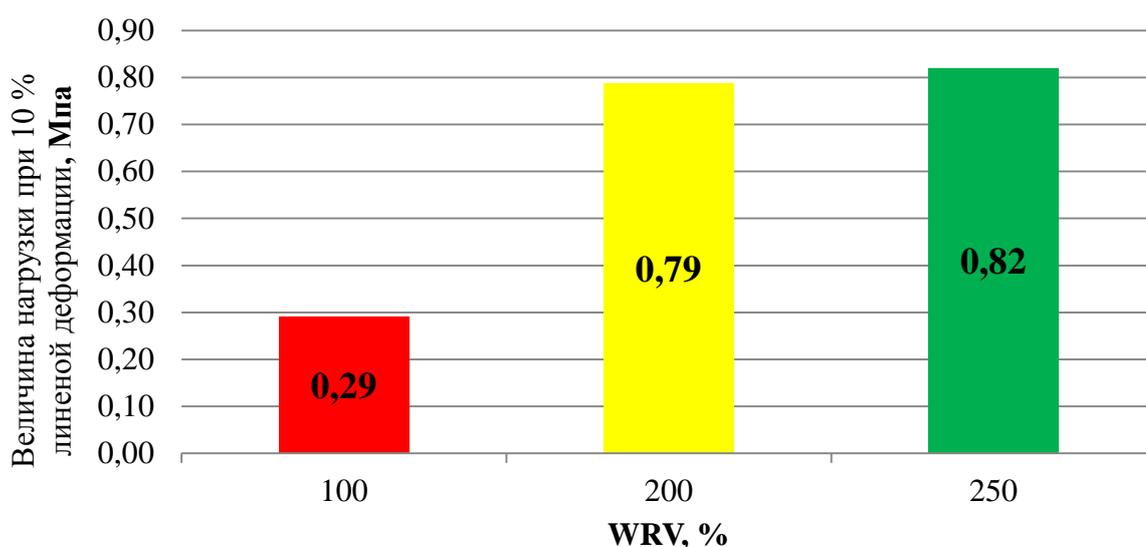


Рис. 1. Влияние водоудерживающей способности на прочность при 10 % линейной деформации

Полученные результаты указывают на то, что с увеличением степени обработки массы повышается прочность при 10 % линейной деформации. Максимальная величина прочности получена при показателе WRV, равном 200 %. Поэтому дальнейшая обработка нецелесообразна. Исследования других свойств производились на плитах, которые были изготовлены из древесной массы с показателем степени обработки WRV, равным 200 %.

Проведенными испытаниями установлено, что прочность при изгибе у полученных плит составляет 1,26 МПа. Полученные показатели прочности значительно превосходят требования, которые предъявляются к теплоизоляционным материалам. Поэтому сфера их применения может быть шире. В связи с этим были проведены испытания по определению показателей свойств, которые выявляются у конструкционных материалов. В частности, были исследованы прочность на растяжение перпендикулярно пласти и величина разбухания при вымачивании. Исследования проводились в соответствии с ГОСТ 4598-86.

Прочность при растяжении перпендикулярно пласти составила 0,25 МПа. Следует отметить, что значения данного показателя прочности сопоставимы с требованиями, предъявляемыми к плитам средней плотности, получаемыми с применением адгезивов, в частности, ДСтП.

При исследованиях разбухания полученных плит получили, что его величина после вымачивания в воде в течение 24 часов не превышает 5 %. При этом после высушивания образцы приобретают первоначальные размеры. А самое главное, они

сохраняют до 100 % от первоначальной прочности. Это говорит о том, что они могут эксплуатироваться в условиях с повышенной влажностью воздуха.

Величину коэффициента теплопроводности плит определяли с помощью прибора ИТС-1. Его величина при влажности плит 8 % составляет 0,039 Вт/м*К. Это говорит о том, что данные плиты являются эффективным теплоизоляционным материалом.

Выводы:

1. Предварительная гидродинамическая активация древесных частиц позволяет получить плиты малой плотности без использования связующих веществ.
2. Наилучшие показатели свойств плит получаются при степени обработки WRV, равной 200 %.
3. Плиты имеют достаточно высокие показатели механических свойств, высокую водостойкость и низкую теплопроводность. Это предопределяет широкую сферу их применения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Баяндин М.А., Ермолин В.Н., Казитин С.Н., Елисеев С.Г.* Влияние мелкодисперсных фракций на формирование свойств древесных плит без связующего // Хвойные бореальной зоны. 2015. XXXIII. № 3–4. С.182–185.
2. *Ermolin V.N., Bayandin M.A., Kazitsin S.N.* Mechanical Activation of Wood for Adhesive-free board Production IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 155 (2016) 012038. DOI: 10.1088/1757-899X/155/1/012038.
3. *Jayme G.* Zellstoff und Papier. 1961. 11. Pp. 432–438.

INVESTIGATION OF THE PROPERTIES OF BOARDS, SMALL DENSITY FROM MECHANO-ACTIVATED WOOD CHIPS WITHOUT ADHESIVES

A.V. NAMYATOV, M.A. BAYANDIN, V.N. ERMOLIN, S.N. KAZITSIN

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia
(mihailbayandin@yandex.ru)

In this paper, the results of investigations of the properties of low density wood boards from mechanically activated sawdust without the use of adhesives are presented. The possibility of obtaining wood boards with a density of 250 kg/m³, with high physical and mechanical properties is established. As a criterion for assessing the quality of processing, it is suggested to use the water retention capacity (BPV) index. To ensure the required performance of plates, the value of BPV should not be 200 %.

ВАРИАЦИИ МАКРОСТРУКТУРЫ ДРЕВЕСИНЫ ЕЛИ И СОСНЫ В РАЗЛИЧНЫХ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

Н.А. НЕВЕРОВ, В.В. БЕЛЯЕВ

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. Н.П. Лаврова, Архангельск, Россия (na-neverov@yandex.ru; beljaew29@mail.ru)

Одними из основных факторов влияния на продуктивность лесных экосистем являются литолого-геоморфологические. К ним относятся состав почвообразующих пород и плодородие связанных с ними почв, а также характер рельефа, влияющий на степень увлажненности [1, 5, 3].

В последнее время появляются исследования о влиянии геоэкологических условий (тектонических узлов) на окружающую среду. Наиболее активным структурообразующим элементом геологической среды являются тектонические разломы. С увеличением числа пересекающихся разломов увеличивается степень раздробленности, проницаемости и глубинности земной коры, что вызывает аномалии магнитного и гравитационного поля [6]. Установлено, что в районах тектонических узлов наблюдается изменение величины снежного покрова, облачности, количества осадков в летний и зимний период [2, 7, 8]. Вышеперечисленные факторы, безусловно, влияют и на состояние растительности, произрастающей на этих территориях, что отражено в ряде публикаций [3, 4, 10, 11].

Нами было изучено макростроение древесины ели и сосны, а также пораженность грибом *Heterobasidion annosum* Fr. (корневая губка) древесины елей, которые произрастают на Холмогорском, Устьянском и Лекшмозерском тектонических узлах (ТУ) и за их пределами на территории Архангельской области (рис. 1).

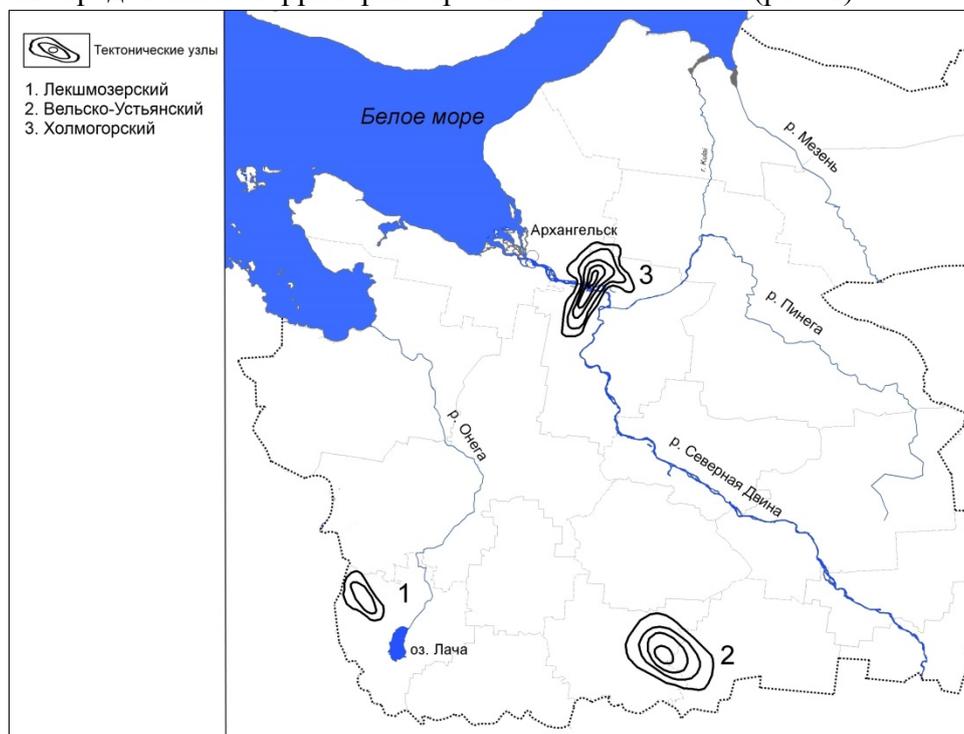


Рис 1. Схема расположения пробных площадей в пределах тектонических узлов

Пробные площади (ПП) подбирались с наиболее схожими таксационными показателями (табл. 1) в центре узла и на периферии узла (либо за пределами,

контроль). Отбирались 30 кернов древесины с каждой ПП на высоте груди в направлении юг – север.

Таблица 1. Таксационная характеристика пробных площадей

| ПП | Высота, м | Полнота | Состав | Возраст, лет | Бонитет | Запас, м ³ /га |
|---------------------------------------|-----------|---------|------------|--------------|---------|---------------------------|
| Вельско-Устьянский тектонический узел | | | | | | |
| С. чер. Центр | 12 | 0,6 | 7С3Е+Б | 100 | IV | 150 |
| С. чер. Контроль | 19 | 0,7 | 8С2Е | 110 | IV | 180 |
| С. сф. Центр | 12 | 0,6 | 10С | 90 | Va | 40 |
| С. сф. Контроль | 10 | 0,4 | 10С | 100 | Va | 40 |
| С. бр. Центр | 18 | 0,7 | 8С2Б | 80 | III | 220 |
| С. бр. Контроль | 18 | 0,7 | 8С2Б | 70 | III | 210 |
| Е. чер. Центр | 19 | 0,7 | 8Е1Б1Ос+Лц | 70 | III | 250 |
| Е. чер. Контроль | 18 | 0,7 | 7Е1С2Б | 80 | III | 240 |
| Холмогорский тектонический узел | | | | | | |
| Е. чер. Центр | 19 | 0,7 | 9Е1Б+Ос | 163 | V | - |
| Е. чер. Контроль | 18 | 0,7 | 8Е2С | 142 | V | - |
| Лекшмозерский тектонический узел | | | | | | |
| Е. чер. Центр | 19 | 0,7 | 6Е3С1Б | 73 | III | - |
| Е. чер. Контроль | 18 | 0,7 | 7Е3Б+С | 78 | III | - |

В табл. 2 приведена характеристика макроструктурных показателей древесины ели и сосны.

Таблица 2. Характеристика макроструктуры древесины сосны и ели

| ПП | Доля поздней древесины, % | Точность опыта, % | Показатель различия, t | Ширина годовичного слоя, мм | Точность опыта, % | Показатель различия, t |
|---------------------------------------|---------------------------|-------------------|------------------------|-----------------------------|-------------------|------------------------|
| Вельско-Устьянский тектонический узел | | | | | | |
| С. чер. Контроль | 25,5±0,86 | 3,3 | 0,1 | 1,12±0,05 | 4,4 | 7,4 |
| С. чер. Центр | 25,3±0,73 | 2,8 | | 0,75±0,02 | 2,6 | |
| С. сф. Контроль | 22,8±0,76 | 3,3 | 0,68 | 0,59±0,03 | 5 | 1,1 |
| С. сф. Центр | 23,4±0,45 | 1,9 | | 0,54±0,03 | 5,5 | |
| С. бр. Контроль | 22,8±0,54 | 2,2 | 4,7 | 1,5±0,06 | 4 | 1 |
| С. бр. Центр | 27,4±0,7 | 2,5 | | 1,0±0,03 | 3 | |
| Е. чер. Контроль | 15,8±0,57 | 3,6 | 2,9 | 1±0,04 | 4 | 1,3 |
| Е. чер. Центр | 18,1±0,52 | 2,8 | | 1,1±0,06 | 5,4 | |
| Холмогорский тектонический узел | | | | | | |
| Е. чер. Центр | 19,5±0,54 | 2,7 | 3,5 | 0,91±0,05 | 5,5 | 2,6 |
| Е. чер. Периферия | 16,5±0,66 | 4 | | 0,74±0,04 | 5,4 | |
| Лекшмозерский тектонический узел | | | | | | |
| Е. чер. Периферия | 14,1±0,72 | 5,1 | 2,1 | 1,77±0,07 | 3,9 | 3,2 |
| Е. чер. Центр | 16,0±0,52 | 3,2 | | 1,48±0,06 | 4 | |

Примечание. Табличный критерий Стьюдента при вероятности 95 % равен 2,0.

С уверенностью можно говорить о достоверных различиях по доле поздней древесины в сосняках брусничных и ельниках черничных в Вельско-Устьянском ТУ, а также в ельнике черничном в Холмогорском ТУ. В Лекшмозерском ТУ точность опыта по доле поздней древесины и по ширине годовичного слоя на всех ПП невысокая, поэтому различия недостоверны.

Установлены различия пораженности древесины ели коневой губкой. В центре тектонического узла пораженность коневой губкой в 2–4 раза ниже, чем на периферии

(табл. 3).

Таблица 3. Пораженность ели корневой губкой (*Heterobasidion annosum* Fr.)

| ПП | Центр | Периферия (контроль) |
|--------------------|-------|----------------------|
| Вельско-Устьянский | 8 | 16 |
| Холмогорский | 17 | 25 |
| Лекшмозерский | 4 | 16 |

Выявленные различия в макростроении древесины ели и сосны, а также в степени пораженности корневой губкой древесины ели вероятнее всего происходят из-за меньшего количества осадков в центре узлов [8], что приводит к лучшему разложению органического материала, меньшему вымыванию Са, Mg, К и Na (поступающих в почву в ходе выветривания). В результате происходит повышение рН и общего плодородия почвы [9]. Меньшее количество влаги в почве способствует лучшей аэрации корней, что в совокупности приводит к повышению продуктивности древостоев и, возможно, к более высокой устойчивости ели к корневой губке.

Исследования проведены в ходе выполнения государственного задания ФГБУН ФИЦКИА РАН, № гос. регистрации АААА-А18-118012390305-7.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Базилевич Н.И., Гребенчиков О.С., Тишков А.А.* Географические закономерности структуры и функционирования экосистем. М.: Наука, 1986. 296 с.
2. *Беляев В.В., Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б., Хмара К.А.* Влияние узлов пересечения тектонических дислокаций на характер выпадения осадков в лесных экосистемах // Вестник Поморского государственного университета. Серия Естественные и точные науки. 2009. № 2. С. 45–50.
3. *Беляев В.В., Дурынин С.Н.* О влиянии тектонических узлов на популяции некоторых лекарственных растений Архангельской области // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2015. № 5. С. 131–135.
4. *Беляев В.В., Неверов Н.А.* О влиянии тектонических узлов на строение и свойства древесины сосны и ели в Архангельской области // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2016. № 4. С. 101–106.
5. *Горячкин С.В., Глазов П.М., Кривопапов А.В., Мерзлый В.Н., Пучнина Л.В., Титова А.А., Тулюкина Т.Ю.* Роль литолого-геоморфологических факторов в продуктивности экосистем северной тайги Архангельской области // Известия РАН. Серия географическая. 2010. № 6. С. 96–99.
6. *Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б.* Разломно-блоковая тектоника и ее роль в эволюции литосферы // Литосфера и гидросфера Европейского Севера России. Геоэкологические проблемы. Под ред. Ф.Н. Юдахина. Екатеринбург: УрО РАН, 2001. С. 68–113.
7. *Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б.* Комплексная модель процессов межгеосферного взаимодействия в тектонических узлах севера Русской плиты // Электронное научное издание Альманах Пространство и время. 2001. Т. 1. 1.
8. *Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б., Беляев В.В., Бураков П.С.* Влияние тектонических нарушений (дегазация, наведенные токи, вариации геомагнитного поля) севера Русской плиты на окружающую среду (на примере Архангельской области) // Вестник КРАУНЦ. Серия Науки о Земле. 2009. С. 77–89.
9. *Перельман А.И., Касимов Н.С.* Геохимия ландшафта. Изд-во «Астрейя-2000», 1999. 730 с.
10. *Слобода А.А., Одоева О.А., Беляев В.В.* О влиянии геоэкологических факторов на химический состав лишайника уснея цветущая (*Usnea Florida* L.) // Наука и образование: векторы развития. Междунар. науч.-практ. конференция. 2017. С. 118–121.
11. *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 // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2015. 1 (343). С. 78–84.

VARIATIONS OF MACROSTRUCTURE OF SPRUCE AND PINE WOOD IN DIFFERENT GEOECOLOGICAL CONDITIONS IN ARKHANGELSK REGION

N.A. NEVEROV, V.V. BELYAEV

Federal Center for Integrated Arctic Research, Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, Russia
(na-neverov@yandex.ru; beljaew29@mail.ru)

As a result of the studies, significant differences in the content of late wood, the width of the annual layer of pine wood and spruce growing in the center of the tectonic knots and beyond it have been revealed. In the center of the tectonic knots the latewood content and the annual ring width is higher, and the lesser the dotted trees spruce by the root fungus (*Heterobasidion annosum* Fr.) than outside it. These differences are most likely due to less precipitation at the center of the knots, leading to a better decomposition of organic material, less washing out of Ca, Mg, K and Na (entering the soil during weathering), which leads to an increase in pH and general soil fertility. And also less the amount of water in the soil contributes to a better aeration of the roots, which together leads to an increase in the productivity of stands and an increase in the immunity of spruce to the root fungus.

ДЕНДРОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ПАРАМЕТРА *BLUE INTENSITY* В ГОДИЧНЫХ КОЛЬЦАХ ХВОЙНЫХ

Д.В. ОВЧИННИКОВ¹, Ю.В. КЛАДЬКО¹, С.Д. ОВЧИННИКОВ², А.Д. ЕРЁМИНА³

¹ Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (dovch@mail.ru)

² Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия (mf.info@mail.ru)

³ Институт химии и химической технологии СО РАН, Красноярск, Россия (wollen07@yandex.ru)

Одно из основных направлений в дендрохронологии – дендроэкология – получило широкое распространение и активно развивается в последнее десятилетие. В определенной степени это связано с тем, что дендроэкологические исследования обладают некоторыми очевидными преимуществами. Материалом исследования, как правило, являются керны и спилы деревьев разных пород. При дендроэкологических исследованиях важна четко сформулированная цель, поскольку от этого зависит выбор объектов исследования. Например, выбор модельных деревьев для исследования вспышек насекомых кардинально отличается от выбора модельных деревьев для реконструкции климата и так далее [3].

Из всех характеристик структуры годичных колец наибольшее распространение в дендроэкологии получили ширина годичного кольца и плотность (максимальная, минимальная). В последние годы активно используются такие показатели, как толщина клеточной стенки, размер люмена и др. Расширение спектра характеристик позволяет решать различные задачи не только в области дендроклиматологии, но и в дендроэкологии и дендрофизиологии. Новым параметром структуры годичного кольца, который активно внедряется в дендроэкологические исследования, является «интенсивность поглощения в голубом спектре», или *blue intensity* (BI). Исследования зарубежных коллег показали перспективность BI как для дендроэкологических, так и для дендроклиматических исследований [1, 2, 8]. В России на основе BI реконструированы температуры июня – сентября на Северном Кавказе [4], однако такие исследования единичны.

BI обладает рядом преимуществ по сравнению с шириной годичных колец и максимальной плотностью (MXD). Основным фактором, ограничивающим

применение максимальной плотности, является весьма дорогостоящая пробоподготовка образцов к измерениям и сами измерения, которые возможны лишь в немногих (единичных) лабораториях. По своим свойствам ВІ весьма похожа на МХД. Это касается и свойств временных рядов, и схожей процедуры измерения. В основе МХД лежит рентгеновская плотность, пересчитываемая затем по алгоритму в обычную. ВІ измеряется по изменению оттенков поглощения в голубом спектре. Фактически ВІ – это аналог МХД, но значительно более дешевый и легкий в измерении. Таким образом, ключевые преимущества ВІ таковы: это достаточно дешевый, широкодоступный и быстрый способ получения массива данных в необходимом количестве.

В рамках данного исследования была сформулирована задача оценить потенциал ВІ как показателя, альтернативного плотности годовых колец параметра. Экспериментальные и теоретические исследования были проведены в 2017 году согласно поставленной задаче. Исследования включали в себя освоение и использование методов пробоподготовки, получение качественных образцов и изображений, измерения и анализ данных. Сбор кернов лиственницы сибирской (33 керна) проведен вблизи верхней границы леса Северо-Чуйского хребта (Республика Алтай, Кош-Агачский р-н, 2100–2200 м н. у. м.). Керны отбирались на высоте примерно 1,2 м от поверхности у деревьев без видимых повреждений пожарами. Затем керны помещались в специализированные пеналы для сохранности при транспортировке в лабораторию.

В лабораторных условиях керны лиственницы были помещены в аппарат Сокслета с 99%-м этанолом, где выдерживались в течение примерно 72 ч [1]. Экстрагирование этанолом необходимо для удаления различных смолистых соединений, которых в лиственнице содержится достаточно много. Затем керны высушивались и наклеивались на специальную подложку. Далее керны аккуратно подрезались на микротоме, после чего поверхность подвергалась тонкой шлифовке мелкой наждачной бумагой (менее 1000). Данная процедура направлена на детализацию структуры годовых колец для последующего сканирования с высоким разрешением согласно методике и Протоколу [1, 2, 6].

Цифровые изображения поверхности кернов высокого качества получены на профессиональном планшетном сканере Epson с разрешением 2400x4800 dpi с помощью программного обеспечения для сканера Silver-Fast Ai Professional™, откалиброванного с помощью калибровочной палетки IT8.7/2 с разрешением 1600 точек на дюйм. Измерения оптической плотности (ВІ) проведены в специализированной программе CDendro/CooRecorder (CooRecorder® и CDendro®, <http://www.cybis.se/forfun/dendro/>). В качестве оптической плотности использован параметр интенсивности поглощения в голубом спектре – ВІ (*blue intensity*). Стандартизация измерений ВІ проводилась с помощью негативной экспоненциальной и линейной функций с отрицательным или нулевым уклоном, а также кубической сплай-функции [3].

В итоге впервые для данного региона Алтая была построена обобщенная хронология по оптической плотности древесины длительностью 232 года (1783–2014). Предварительные оценки основных статистических показателей хронологии – коэффициент чувствительности, стандартное отклонение, коэффициент автокорреляции – свидетельствуют о потенциальном значимом влиянии внешнего фактора (климата). Коэффициент чувствительности оценивает величину межгодовой изменчивости прироста, а стандартное отклонение – амплитуду его изменчивости. Чем выше коэффициент чувствительности и стандартное отклонение, тем более сильный климатический сигнал содержится в хронологии [3].

Так, коэффициент чувствительности (MS) изменяется в пределах 0,11–0,2, стандартное отклонение (SD) 0,16–0,19. В индексированных хронологиях после процедуры стандартизации MS составляет 0,11; SD составляет 0,27. Автокорреляция первого порядка хорошо выражена (0,62–0,82), что свидетельствует о влиянии погодных условий прошлого года на показатели оптической плотности в текущем году. Обычно данный факт объясняется физиологическими особенностями роста деревьев. В остаточной хронологии автокорреляция отсутствует. Межсерийный коэффициент корреляции изменяется в пределах от +0,46 до 0,68 между отдельными кернами.

Качество хронологии также оценивалось с помощью EPS (Expressed Population Signal – выраженный популяционный сигнал). Значение индекса EPS 0,85 гарантирует, что показатель оптической плотности за данный год адекватно отражает изменчивость всей выборки [7]. Однако для построенной хронологии значение EPS на отдельных периодах оказалось ниже общепринятой нормы, что свидетельствует о необходимости повысить качество построенной хронологии до требуемых стандартов.

Для оценки связи с климатом использованы обобщенные индексированные хронологии по оптической плотности (BI) и ежемесячные климатические значения в ячейках $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ данных CRU TS 3,23 [5] для региона с координатами 48–52 с. ш. и 86–90 в. д. Наиболее высокие связи с климатическими параметрами характерны для остаточной хронологии. Предварительный дендроклиматический анализ (на основе корреляции Пирсона) показал, что статистически значимая связь с осадками отсутствует. В то же время температуры теплого периода определяют до 30–36 % изменчивости BI (коэффициент детерминации 0,3–0,36; $p=0,05$; F-критерий = 3,7; $df = 7,60$; DW = 1,7).

Таким образом, анализ обобщенной хронологии оптической плотности (BI) годовых колец лиственницы для верхней границы леса на Алтае и предварительные оценки климатического сигнала свидетельствуют о высоком дендроэкологическом потенциале BI как аналоге максимальной плотности.

Исследование выполнено в рамках проекта РФФИ № 17-05-01190 «Длительные изменения летней температуры воздуха и абляции (таяния) ледников Алтая по данным оптической плотности древесины».

ЛИТЕРАТУРА

1. Björklund J.A., Gunnarson B.E., Seftigen K., Esper J., Linderholm H.W. Blue intensity and density from northern Fennoscandian tree rings, exploring the potential to improve summer temperature reconstructions with earlywood information // *Clim. Past.* 2014. 10: 877–885. URL: <https://doi.org/10.5194/cp10-877-2014>.
2. Campbell R., McCarroll D., Loader N.J., Grudd H., Robertson I., Jalkanen R. Blue intensity in *Pinus sylvestris* tree-rings: developing a new palaeoclimate proxy // *The Holocene.* 2007. 17:821. URL: <https://doi.org/10.1177/0959683607080523>.
3. Cook E.R., Kairiukstis L.A. *Methods of Dendrochronology: applications in the environmental sciences.* Dordrecht: Kluwer, 1990. 394 p.
4. Dolgova E. June – September temperature reconstruction in the Northern Caucasus based on blue intensity data // *Dendrochronologia.* 2016. 39: 17–23.
5. Harris I., Jones P.D., Osborn T.J., Lister D.H. Updated high-resolution grids of monthly climatic observations – the CRU TS3.10 dataset // *Int J Climatol.* 2014. 34(3): 623–642.
6. Rydval M., Larsson L.Å., McGlynn L., Gunnarson B.E., Loader N.J., Young G.H., Wilson R. Blue intensity for dendroclimatology: should we have the blues? Experiments from Scotland // *Dendrochronologia.* 2014. 32: 191–204.
7. Wigley T.M.L., Briffa K.R., Jones P.D. On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology // *Journ. of Climate and Applied Meteorology.* 1984. 23: 201–213.

8. Wilson R., Wilson D., Rydval M., Crone A., Büntgen U., Clark S., Ehmer J., Forbes E., Fuentes M., Gunnarson B.E., Linderholm H.W. Facilitating tree-ring dating of historic conifer timbers using Blue Intensity // J. Archaeol. Sci. 2017. 78: 99–111.

DENDROECOLOGICAL POTENTIAL OF THE *BLUE INTENSITY* PARAMETER IN THE TREE RINGS OF THE CONIFEROUS

D.V. OVCHINNIKOV¹, J.V. KLADKO¹, S.D. OVCHINNIKOV², A.D. EREMINA³

¹ V.N. Sukachev Institute of forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (dovch@mail.ru)

² Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia (rnf.info@mail.ru)

³ Institute of Chemistry and Chemical Technology SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (wollen07@yandex.ru)

In this study we discussed how to use new indicator – *blue intensity* (BI) in dendroecological work. The advantages of optical density (BI) in comparison with other characteristics of the structure of annual rings are discussed. BI parameter was calculated for tree-rings of the Siberian larch in Altai Mountains. As a result, a generalized 232 years (1783–2014) BI-chronology of *Larix sibirica* L. was constructed for the South Siberia (Altai Mt.) region. Quality of BI-chronology was tested by standard statistical methods in dendrochronology. Mean sensitivity (MS), standard deviation (SD), first order of autocorrelation (AC1) were used to test BI time series. Correlation between individual time series are changes from 0,46 to 0,68, MS 0,11–0,20, SD 0,16–0,18, AC1 0,62–0,82. Preliminary researches of the Siberian larch showed a good potential of the BI for dendroecological studies in the Altai Mountains (Russia).

ГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ: ВЛИЯНИЕ НА ГИГРОСКОПИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Е.А. ПЕТРУНИНА¹, С.Р. ЛОСКУТОВ¹, М.А. БАЯНДИН², В.Н. ЕРМОЛИН², П.В. МИРОНОВ²

¹ Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (petrunina@ksc.krasn.ru)

² СибГУ науки и технологий им. М.Ф. Решетнева, Красноярск, Россия (mpv175@yandex.ru)

В последние годы особую актуальность приобрела проблема утилизации растительных отходов. Одним из наиболее перспективных направлений использования растительной биомассы является ее применение в качестве субстрата для процессов микробиологической конверсии с получением белковых кормовых продуктов и органических удобрений. Такая продукция востребована в сельском хозяйстве для обогащения белком и витаминами традиционных кормов, что будет способствовать снижению дефицита кормового белка и повышению плодородия почв.

В связи с этим интенсивно исследуются и разрабатываются технологии предобработки растительной биомассы, в том числе древесных отходов. Целью такой предобработки является повышение биодоступности и ускорение процессов биоконверсии. Особый интерес для исследователей представляет возможность использования кавитационной обработки древесного и недревесного растительного сырья. В основе метода лежит обработка растительного материала в водной среде в специальных устройствах – кавитаторах, или гидродинамических диспергаторах.

Кавитационная обработка обеспечивает разрыхление нативной древесины, частичное разрушение клеточных стенок, образование микрообъемов и микрополостей в массе макромолекул биополимеров, надмолекулярных образований и фрагментов

клеточных стенок. Показано, что такая обработка облегчает доступность макромолекул биополимеров для химических реагентов и ферментов [3].

Можно предполагать, что при гидродинамической активации растительного сырья изменяются его сорбционные характеристики, которые будут зависеть от режимов обработки. Величину удельной поверхности исходного и активированного сырья можно оценить по изменению сорбционных свойств по отношению к воде. Кроме того, может измениться структура капиллярно-пористой системы. Эти изменения могли бы служить характеристикой степени активации сырья.

Целью данной работы являлось изучение процессов сорбции-десорбции паров воды образцами исходной и гидродинамически активированной древесины, а также оценка удельной поверхности и других характеристик с использованием моделей Брунауэра – Эммета – Теллера (БЭТ) и Френкеля – Холси – Хилла (ФХХ).

Для проведения исследований использовались опилки сосны (*Pinus sylvestris*), полученные при распиловке круглых лесоматериалов. Влажность частиц древесины составляла ~80 %. Обработку проводили при гидромодуле 10 в гидродинамическом диспергаторе роторно-пульсационного типа. Диаметр ротора 277 мм, размер каналов (глубина) 11 мм, частота вращения ротора 3000 об./мин [1]. Степень обработки древесины регулировалась продолжительностью воздействия. Исходные опилки суспендировали в воде при таком же гидромодуле в режиме обычного перемешивания (контроль), который обеспечивает разрыхление нативной древесины, частичное разрушение клеточных стенок, образование микрообъемов и микрополостей в массе макромолекул биополимеров, надмолекулярных образований и фрагментов клеточных стенок.

Далее исходные опилки и опилки после гидродинамической активации отфильтровывали, замораживали при $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ и подвергали лиофильной сушке при $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и температуре конденсатора $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ для сохранения структуры древесины в состоянии, близком к состоянию при максимальных значениях набухания и гидратации. Лиофильно высушенные образцы активированной и исходной древесины помещали в гигростаты при $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ с определенной относительной влажностью воздуха (над растворами серной кислоты соответствующих концентраций) и выдерживали в течение месяца до достижения постоянной массы образцов (сорбция). Аналогично подвергали десорбции предварительно увлажненные образцы. Кроме того, в гигростатах также выдерживали образцы исходной и активированной древесины с начальным содержанием воды $\sim 0,5\text{ г H}_2\text{O/г сух. массы}$ без предварительного замораживания и лиофильной сушки.

Соответствующие изотермы сорбции и десорбции приведены на рис. 1.

Как следует из рисунка, образцы активированной и исходной древесины после замораживания и лиофильной сушки имеют близкие значения по уровню сорбции вплоть до величины P/P_0 около $0,75\text{--}0,8$, при которой начинается капиллярная конденсация. Это подтверждается построением графиков в координатах уравнения ФХХ (рис. 2) [2]. Излом при соответствующем значении P/P_0 обычно интерпретируется как начало капиллярной конденсации. Обращает на себя внимание резкий рост количества конденсирующейся объемной фазы в образце активированной древесины по сравнению с контролем. Это свидетельствует об увеличении в древесной массе в результате гидродинамической обработки количества микрообъемов и микрополостей (наиболее вероятно, капилляров щелевидной формы).

Такой характер сорбции можно объяснить формированием и фиксацией в результате замораживания и лиофильной сушки новой достаточно прочной сетки относительно слабых (физических) связей за счет освободившихся при активации и дегидратации функциональных групп макромолекул биополимеров. При этом обращает

на себя внимание близость величин сорбции для активированной и исходной древесины после замораживания и лиофильной сушки.

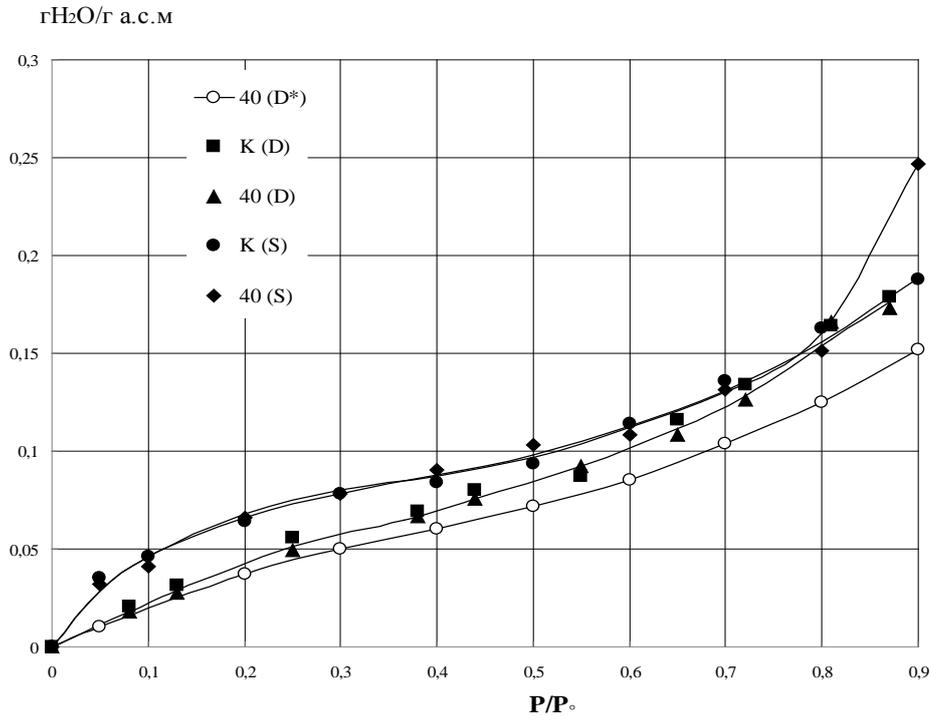


Рис. 1. Изотермы сорбции и десорбции воды образцами активированной и исходной древесины: S – сорбция; D – десорбция; D* – десорбция без предварительного замораживания; К – контроль (исходная древесина); 40 – продолжительность обработки, мин.

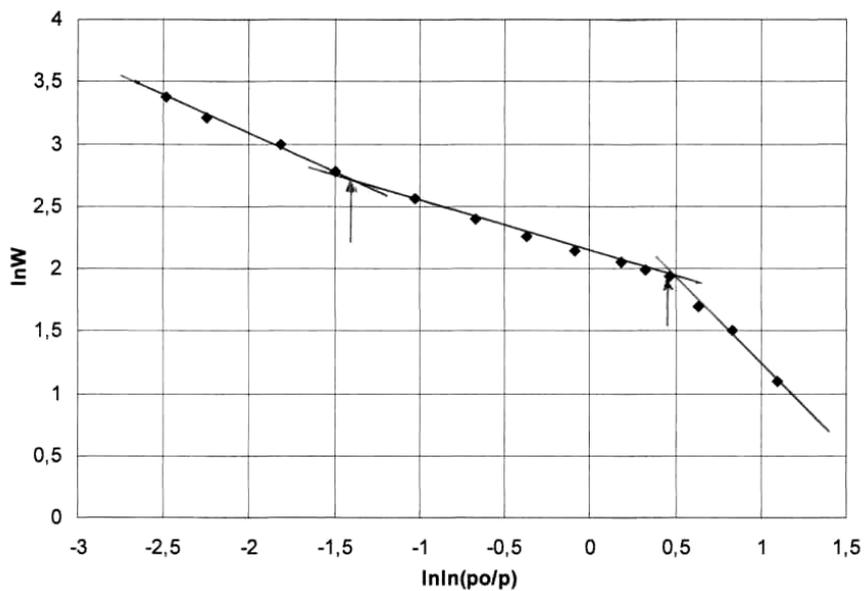


Рис. 2. Обработка изотермы сорбции паров воды образцами активированной древесины по методу ФХХ (Френкеля – Холси – Хилла)

Оценка величины удельной поверхности по методу БЭТ [1] дает в этом случае значение $\sim 350 \text{ м}^2/\text{г}$ сух. массы (емкость «монослоя» $W_m = 0,0975 \text{ г H}_2\text{O}/\text{г}$ сух. массы); для образцов, не подвергавшихся предварительному замораживанию и лиофильной

сушке, соответствующая величина составляет $\sim 165 \text{ м}^2/\text{г}$ сух. массы при емкости «монослоя» $W_m = 0,0458 \text{ г H}_2\text{O}/\text{г сух. массы}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баяндин М.А., Ермолин В.Н., Елисеев С.Г. Влияние механоактивации на аутогезионные свойства древесины // Хвойные бореальной зоны. 2013. 31 (1–2). С. 159–163.
2. Адсорбция, удельная поверхность, пористость / С. Грег, К. Синг. М.: Изд-во «Мир», 1984. 306 с.
3. Нифантьев Э.Е., Коротеев М.П. и др. Продукты химического модифицирования кавитированной древесины лиственницы // Химия растительного сырья. 2010. 2. С. 37–42.

HYDRODYNAMIC WOOD PROCESSING: INFLUENCE ON HYGROSCOPIC PROPERTIES

Y.A. PETRUNINA¹, S.R. LOSKUTOV¹, M.A. BAYANDIN², V.N. YERMOLIN²,
P.V. MIRONOV²

¹ V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (petrunina@ksc.krasn.ru)

² Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia (mpv175@yandex.ru)

The hygroscopic properties of hydrodynamically activated wood were investigated at conditions of water vapor sorption-desorption. It has been shown that cavitation process of the sawdust in the hydrodynamic disperser, due to wood structure and cell wall destruction, formation of microvolumes and microcavities in the mass of macromolecules of biopolymers, supramolecular formations and fragments of cell walls leads to a significant change in the sorption properties of wood sawdust.

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИ АКТИВИРОВАННАЯ ДРЕВЕСИНА СОСНЫ: ТЕРМОГРАВИМЕТРИЯ, ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ СКАНИРУЮЩАЯ КАЛОРИМЕТРИЯ

Е.А. ПЕТРУНИНА¹, С.Р. ЛОСКУТОВ¹, П.В. МИРОНОВ²

¹ Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (petrunina@ksc.krasn.ru)

² СибГУ науки и технологий им. М.Ф. Решетнева, Красноярск, Россия (mpv175@yandex.ru)

Проблема комплексной переработки отходов деревообрабатывающих предприятий лесной отрасли остается актуальной. Одним из путей ее решения является использование древесной массы в биотехнологии (производства белковых кормовых продуктов, органических удобрений, премиксов и т. п.) [2, 3]. Для повышения эффективности биотехнологической переработки, как правило, используют ту или иную «активацию» исходного сырья.

Целью нашего исследования был сравнительный анализ термических показателей натуральной и подверженной гидродинамической активации древесины сосны (фракция опилок $\sim 0,5 \text{ мм}$). Образцы активированной древесины были получены на кавитационном гидродинамическом диспергаторе [1]. Термический анализ исследуемых образцов проводили с помощью приборов TG 209 F1 и DSC 204 F1 (NETZSCH, Германия) в окислительной среде (воздух) при скорости нагрева $10 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{мин}^{-1}$ от 29 до $700 \text{ }^\circ\text{C}$. Масса образцов составила $3,04 \div 5,48 \text{ мг}$. Обработку результатов измерений осуществляли с помощью пакета программ, поставляемого с приборами

NETZSCH Proteus Thermal Analysis 4.8.4. Все образцы древесины кондиционировали до равновесного состояния в гидростатах при относительной влажности воздуха 5; 50; 90 % и температуре $20 \div 23$ °C (табл. 1).

Таблица 1. Влажность натуральной древесины и древесины после «активации»

| Влажность воздуха в гидростате, % | W, % | | |
|-----------------------------------|------------|-------------|-------------|
| | <i>C-K</i> | <i>C-20</i> | <i>C-40</i> |
| 5 | 3,46 | 3,37 | 3,15 |
| 50 | 10,1 | 10,6 | 10,8 |
| 90 | 18,3 | 17,0 | 24,7 |

Примечание. W – влажность древесины, %. Приняты обозначения: C-K – контрольный образец исходной древесины, C-20 и C-40 – образцы древесины после 20- и 40-минутной гидродинамической «активации» соответственно

На рис. 1 в качестве примера приведены термогравиметрические и дифференциальные термогравиметрические кривые (ТГ и ДТГ) исследованных образцов, доведенных до постоянной массы при относительной влажности воздуха 50 %. Наиболее существенные различия этих образцов связаны с потерей массы в температурном диапазоне $340 \div 460$ °C (рис. 1а), со скоростью потери массы, шириной и амплитудой пиков ДТГ, а также положением температурных максимумов на ДТГ-кривых.

Термодеструкция древесины в окислительной среде происходила в три этапа. На первом этапе испаряется влага и удаляются легколетучие компоненты. Второй этап характеризуется деструкцией гемицеллюлоз, целлюлозы и частичным разложением лигнина. На третьем этапе происходит преимущественное разложение лигнина и сгорание образовавшегося угля.

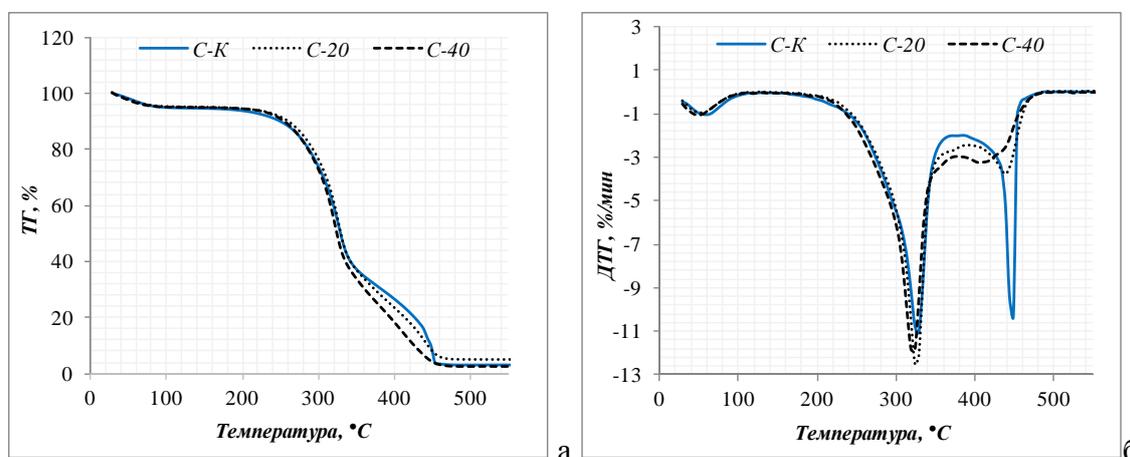


Рис. 1. Термогравиметрические кривые натуральной древесины и древесины после гидродинамической активации: а – ТГ; б – ДТГ.

Для образцов активированной древесины, выдержанных при относительной влажности воздуха 5, 50 и 90 %, температурный максимум испарения влаги (t_{max}) на ДТГ-кривых сместился в область более низких температур по сравнению с натуральной древесиной (табл. 2). При этом максимальные скорости потери массы в температурном диапазоне потери влаги и термодеструкции углеводного комплекса активированных образцов древесины имеют близкие значения.

В температурном диапазоне термического разложения полифенольного комплекса наибольшая скорость потери массы отмечена для натуральной древесины

(ДТГ_{max} = 10,81 %·мин⁻¹).

Таблица 2. Показатели скорости термодеструкции древесины: температура максимумов и соответствующие ей величины ДТГ при нагревании образца со скоростью 10 °С·мин⁻¹ в окислительной среде

| Влажность воздуха в гидростате (%), образец | | t_{max} | ДТГ _{max} |
|---|-------------|-----------|--------------------|-----------|--------------------|-----------|--------------------|-----------|--------------------|
| 5 | <i>С-К</i> | 65,5 | -0,62 | 326,3 | -11,81 | 445,6 | -10,81 | - | - |
| | <i>С-20</i> | 63,2 | -0,60 | 325,0 | -13,25 | 440,2 | -6,74 | - | - |
| | <i>С-40</i> | 61,7 | -0,61 | 321,4 | -12,54 | 423,2 | -3,53 | - | - |
| 50 | <i>С-К</i> | 59,7 | -1,05 | 327,3 | -11,24 | 448,1 | -10,35 | - | - |
| | <i>С-20</i> | 53,2 | -0,98 | 325,8 | -12,78 | 438,4 | -3,80 | - | - |
| | <i>С-40</i> | 49,1 | -1,05 | 321,7 | -12,18 | 405,4 | -3,24 | - | - |
| 90 | <i>С-К</i> | 50,4 | -1,57 | 327,5 | -10,64 | 446,1 | -9,43 | - | - |
| | <i>С-20</i> | 44,6 | -1,35 | 324,3 | -11,10 | 433,6 | -3,26 | - | - |
| | <i>С-40</i> | 49,8 | -1,17 | 321,9 | -11,74 | 424,2 | -3,92 | 434,6 | -4,83 |

Примечание. t_{max} – температура максимума на кривой ДТГ, °С; ДТГ_{max} – максимальная скорость потери массы, %·мин⁻¹.

На рис. 2 представлены результаты расчета энергии активации термического разложения исследованных образцов, рассчитанные по кинетической модели Бройдо [4].



Рис. 2. Энергии активации термического разложения основных компонентов натуральной древесины и древесины после гидродинамической активации. 30, 60, 90 % – влажность воздуха в гидростатах

Энергия активации (E_a) термического разложения гемцеллюлоз и целлюлозы находится приблизительно на одном уровне: около 82,91 и 34,82 кДж/моль соответственно. В то же время энергия активации термического разложения лигнина изменяется хаотически.

В табл. 3 представлены параметры термического разложения образцов древесины, регистрируемые в опытах по ДСК. Отмечается понижение эндоэффекта испарения влаги образцов C-20 и C-40, кондиционированных в гидростатах с относительной влажностью воздуха 50 и 90 % по сравнению с контрольным образцом.

Таблица 3. Основные параметры древесины, полученные в эксперименте ДСК

| Влажность воздуха в гидростате (%), <i>образец</i> | $T_{\text{интервал}}$, °С | t_{min} , эндотер, °С | $Q_{\text{эндо}}$, Дж · г ⁻¹ | $T_{\text{интервал}}$, °С | t_{max} экзотерм, °С | | | $Q_{\text{экзо}}$, кДж · г ⁻¹ | |
|--|----------------------------|--------------------------------|--|----------------------------|-------------------------------|-----|------|---|------|
| | | | | | | | | | |
| 5 | <i>C-K</i> | 38–86 | 53 | 18,9 | 227–496 | 343 | - | 443*; 464; 492* | 8,2 |
| | <i>C-20</i> | 29–95 | 61 | 47,2 | 206–497 | 339 | - | 455; 473 | 11,7 |
| | <i>C-40</i> | 28–89 | 50 | 69,5 | 189–481 | 333 | 362* | 450 | 10,6 |
| 50 | <i>C-K</i> | 31–86 | 57 | 46,2 | 221–494 | 343 | - | 470 | 9,3 |
| | <i>C-20</i> | 34–89 | 55 | 38,5 | 209–492 | 337 | 367* | 451; 461* 475* | 10,0 |
| | <i>C-40</i> | 33–85 | 55 | 38,6 | 207–463 | 331 | 356* | 423; 435* 455* | 10,1 |
| 90 | <i>C-K</i> | 32–88 | 56 | 38,9 | 226–501 | 342 | - | 459; 467*; 494* | 8,4 |
| | <i>C-20</i> | 32–87 | 54 | 33,0 | 208–497 | 339 | 374* | 463; 471* | 9,1 |
| | <i>C-40</i> | 34–86 | 57 | 37,5 | 212–483 | 334 | 368 | 440; 450* | 13,5 |

Примечание. * – температура в точке перегиба ДСК-кривой; прочерк означает отсутствие максимума на кривой ДСК.

Максимальное значение эндоэффекта отмечено для образцов С-20 и С-40, кондиционированных в гидростате при относительной влажности воздуха 5 %.

В температурном диапазоне 189÷501 °С происходит процесс термодеструкции основных компонентов древесинного вещества, сопровождающийся выделением тепла, – два экзотермических пика на ДСК-кривой. Наибольшим суммарным экзотермическим эффектом ($Q_{\text{экзо}} = 13,5$ кДж·г⁻¹) характеризуется образец С-40, кондиционированный в гидростате при 90%-й относительной влажности воздуха.

Основной вывод, который следует из анализа результатов настоящего исследования, сводится к тому, что гидродинамическая активация древесины сосны не изменяет структуру полимерной композиции древесинного вещества, но оказывает заметное влияние на морфолого-анатомическое строение древесины.

Авторы выражают благодарность д. т. н., профессору В.Н. Ермолину за помощь в подготовке образцов гидродинамически активированной древесины сосны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баяндин М.А., Ермолин В.Н., Елисеев С.Г. Влияние механоактивации на аутогезионные свойства древесины // Хвойные бореальной зоны. 2013. 31 (1-2). С. 159–163.
2. Комплексное применение биотехнологий в достижении устойчивого развития сельских территорий региона / Д.А. Баландин, А.Н. Пыткин, Н.М. Тарасов. Екатеринбург: Изд-во ФГБУН УрО РАН, 2014. 166 с.
3. Фицев А.И. Проблемы и перспективы производства кормового белка в России // Кормопроизводство. 2003. 10. С. 25–31.
4. Gao M., Sun C.Y., Wang C.X. Thermal degradation of wood treated with flame retardants // J. Therm. Anal. Calorim. 2006. 85 (3): 765–769.

HYDRODYNAMICALLY ACTIVATED WOOD OF PINE: THERMOGRAVIMETRY, DIFFERENTIAL SCANNING CALORIMETRY

Y.A. PETRUNINA¹, S.R. LOSKUTOV¹, P.V. MIRONOV²

¹ V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (petrunina@ksc.krasn.ru)

² Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia (mpv175@yandex.ru)

The article studies samples of primary and hydrodynamically activated wood using the thermogravimetry (TG/DTG) and differential scanning calorimetry (DSC). Pre cavitation wood processing based on original structure destabilization results in changing the temperature and DTG peak amplitude. Therefore, temperature peak on the DTG and DSC curves shifts to low temperature region are observed for all hydrodynamically activated wood samples in compared with genuine wood. At the same time, the rate of thermal degradation estimated by DTG is considered to be approximately at the same level.

ХИМИКО-МИКОЛОГИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ДРЕВЕСИНЫ И СОХРАНЕНИЕ ПАМЯТНИКОВ ДЕРЕВЯННОГО ЗОДЧЕСТВА

Е.Н. ПОКРОВСКАЯ¹, Ю.Л. КОВАЛЬЧУК², Ф.А. ПОРТНОВ³

¹ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Россия (elenapokrovskaya@bk.ru)

² Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия (jlkovalchuk@rambler.ru)

³ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Россия (wastingtimefilmart@gmail.com)

Долговечность зданий и сооружений является основным фактором прогресса в строительстве и реставрации. Основным фактором, влияющим на долговечность древесины

и конструкций из нее, является действие биоразрушителей. Действию биоразрушений подвержены также конструкции из бетона, кирпича, белого камня. По наиболее развитым странам Европы и Северной Америки убытки от биокоррозии составляют 2 % от стоимости произведенной совокупной продукции [1].

Большинство памятников истории и архитектуры разрушаются под действием биодеструкторов. Древесина подвержена биоразрушению в наибольшей степени, так как является органическим материалом. Под действием биоразрушений у древесины изменяется химический состав, содержание целлюлозы и лигнина [2].

Памятник истории и архитектуры, деревянный оштукатуренный дом на Малом Власьевском переулке, 4, стр. 1, построен в 1903–1905 гг. Первое микологическое обследование было проведено в 2005 году. Были обнаружены следующие виды биоразрушителей: *Penicillium Aspergillus niger*, *Trihoderma viride*, *Cladosporium herbarum*, *Mucor hiemalis*.

Антисептирование конструкции здания не проводилось, и микологическое обследование в 2008 году показало наличие в его микрофлоре значительного количества новых разрушающих грибов, *phylum*, белой гнили и т. д. Это свидетельствует об активном процессе биоразрушения в случае отсутствия антисептиков. За пять лет (с 2003 по 2008) поражение плесневыми и

дереворазрушающими грибами древесины конструкций чердака увеличилось в среднем на 30–50 %. Отмечается значительное поражение бруса пологого настила. При наличии увлажнения и таких темпах роста количества биоразрушителей возможна потеря прочности конструкции за 5–10 лет [3].

Тем не менее основные конструкции сруба имеют высокую прочность и неизменный химический состав древесины. Прочность конструкций чердака и подвала в 2–3 раза меньше нормы.

Особо важное значение для обеспечения долговечности зданий и сооружений имеет состояние фундаментов. В центральной и северной частях России основаниями фундаментов монастырей, храмов, домов служат деревянные сваи из дуба, реже из сосны.

Нами были исследованы деревянные свайные фундаменты Успенского собора, южной и западной частей крепостной стены Свято-Троицкой Сергиевой Лавры, Ростовского Кремля. Данные приведены в табл. 1.

Таблица 1. Химический состав и наличие биоразрушителей образцов древесины отдельных шурфов СТСЛ и Ростовского Кремля

| № п/п | Место отбора образцов | Состав древесины | | Год начала эксплуатации | Количество жизнеспособных спор |
|--|------------------------------|------------------|-------------|-------------------------|--------------------------------|
| | | % лигнина | % целлюлозы | | |
| Свято-Троицкая Сергиева Лавра | | | | | |
| | Западная стена | | | | |
| 1 | Шурф № 9, верх сваи | 41,01 | 48,23 | 1650 | 75 |
| 2 | Шурф № 9, средняя часть сваи | 39,32 | 27,33 | 1540 | 109 |
| 3 | Шурф № 9, оголовок | 48,15 | 33,51 | 1540 | 65 |
| 4 | Шурф № 4, верх сваи | 59,39 | 18,42 | 1650 | 117 |
| | Южная стена | | | | |
| 5 | Шурф № 6, верх сваи | 42,64 | 24,37 | 1540 | - |
| 6 | Шурф № 7, средняя часть | 49,47 | 21,98 | 1650 | 59 |
| 7 | Шурф № 9, верх сваи | 61,63 | 17,87 | 1650 | 44–91 |
| Успенский собор | | | | | |
| 8 | Шурф № 5, низ сваи | 34,2 | 25,11 | XVI в. | 89 |
| 9 | Шурф № 5, средняя часть сваи | 51,0 | 31,7 | XVI в. | 123 |
| 10 | Шурф № 5, верх сваи | 60,0 | 29,49 | XVI в. | 87 |
| 11 | Шурф № 2, низ сваи | 43,7 | 41,7 | XVI в. | 124 |
| 12 | Шурф № 2, средняя часть сваи | 45,6 | 41,8 | XVI в. | 68 |
| 13 | Шурф № 2, верх сваи | 38,9 | 42,29 | XVI в. | 42 |
| 14 | Шурф № 4, низ сваи | 55,5 | 49,9 | XVI в. | 112 |
| 15 | Шурф № 4, средняя часть сваи | 52,8 | 47,4 | XVI в. | - |
| 16 | Шурф № 4, верх сваи | 65,1 | 30,3 | XVI в. | 156 |
| 17 | Шурф № 1, низ сваи | 55,0 | 19,7 | XVI в. | - |
| 18 | Шурф № 1, верх сваи | 50,16 | 16,3 | XVI в. | - |
| Ростовский кремль. Конюшенный двор | | | | | |
| 19 | Шурф № 2 | 48,58 | 34,57 | XVI в. | 67 |
| Дом на Малом Власьевском переулке, 4, стр. 1 | | | | | |
| 20 | Балка перекрытия пола | 45,53 | 36,03 | XVI в. | 59 |

Нативная древесина дуба содержит 27–30 % лигнина, содержание целлюлозы –

около 40 %. Как видно из приведенной таблицы, образцы древесины № 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10 содержат целлюлозы меньше, что говорит о химическом изменении лигноуглеводного комплекса.

Исследование биоповрежденной древесины свайных фундаментов показало наличие значительных концентраций жизнеспособных спор на 1 см²: от 68 до 156 спор/см². Обнаружено 8 видов грибов: *Aspergillus*, *Penicillium*, *Trichoderma*, *Coriollus*, *Fusarium*, *Mucor hiemalis*, *Acremonium*, *Ophistoma*.

Сохранность древесины дуба свайного фундамента Успенского собора неоднородна, но в основном разрушения происходят под действием механических нагрузок (верх сваи), биоразрушений (низ сваи). Середина сваи частично сохранена – в этом случае практически нет уменьшения содержания основных компонентов лигноуглеводного комплекса. Химическое разрушение верха или середины значительно увеличивалось в присутствии биоразрушителей. Для увеличения долговечности свай необходимо увеличивать их биостойкость по всей массе древесины и гидрофобизацию поверхности, которая способствовала бы сохранности биоцидной оболочки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Покровская Е.Н., Котенева И.В. Изучение древесины памятников деревянного зодчества // Известия вузов. Лесной журнал. 2003. № 2. С. 23–26.
2. Обеспечение долговечности изделий из древесины / Ю.А. Варфоломеев. М.: Изд-во «Ассоль», 1992. 255 с.
3. Сохранение памятников деревянного зодчества с помощью элементоорганических соединений / Е.Н. Покровская. М.: Изд-во АСВ, 2009. 136 с.

CHEMICAL-RESISTANT WOOD AND MYCOLOGY PRESERVATION OF MONUMENTS OF WOODEN ARCHITECTURE

E.N. POKROVSKAYA¹, Y.L. KOVALCHUK², F.A. PORTNOV³

¹ Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russia (elenapokrovskaya@bk.ru)

² A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution (jlkovalchuk@rambler.ru)

³ Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russia (wastingtimefilmart@gmail.com)

Durability of buildings and constructions is the main factor for progress in construction and restoration. The main factor affecting the durability of wood is influence of bio-destructors. Most of the monuments of history and architecture are being destroyed under the action of bio-destructors. Wood is susceptible to bio-destruction hit hardest, because is an organic material. Particularly important for ensure durability of buildings and structures has a status of foundations. We have researched the wooden pile foundations of Assumption Cathedral, South and Western parts of the city wall in the Trinity-Sergius Lavra, the Rostov Kremlin. Study of destroyed wood pile foundations revealed the presence of significant concentrations of viable spores. Chemical destruction significantly increased in the presence of bio-destructors. To increase the longevity of the piles one should increase their biostability throughout the mass of wood and hydrophobization surfaces, which would assist in preservation of biocidal shell.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ И МЕТОДОВ ОГНЕБИОЗАЩИТЫ

Е.Ю. ПОЛИЩУК, А.Б. СИВЕНКОВ, Е.А. АНОХИН, С.К. КЕНЖЕХАН,
Д.М. НИГМАТУЛЛИНА, Б.Б. СЕРКОВ

Академия ГПС МЧС России, Москва (eryur@ya.ru)

Современные тенденции в строительстве позволяют говорить о возрастающем интересе к применению деревянных конструкций (ДК). За последние годы в целом ряде стран были значительно снижены ограничения на применение древесины в конструкциях многоэтажных домов, а к 2020 году ожидается снятие ограничений на использование древесины во всех странах Евросоюза [7]. Аналогичные процессы наблюдаются и в нашей стране. По мнению ВВС, древесина вполне имеет все шансы стать строительным материалом XXI века [8], а CNN даже сравнил процесс появления деревянных многоэтажек с лесным пожаром [9].

Вместе с тем массовое использование древесины в строительстве несет и определенные риски, формирующие необходимость решения целого комплекса взаимосвязанных задач. Краеугольным камнем является обеспечение безопасности объектов строительства, включая физическую (устойчивость конструкций к внешним механическим, сейсмическим и ветровым нагрузкам), экологическую (ограничение эмиссии вредных веществ), биологическую (защита от действия дереворазрушающих грибов и микроорганизмов, исключение влияния на человека) и пожарную безопасность. К вопросам экологической безопасности можно также отнести и проблемы восстановления лесных насаждений. Учитывая, что период достижения спелости хвойными породами составляет 80 лет [2], решение данной проблемы может достигаться либо обеспечением соответствующих сроков эксплуатации зданий, либо кратным увеличением лесопосадок.

Таким образом, с целью обеспечения рационального использования лесных ресурсов, долговечности и безопасности зданий с деревянными конструкциями необходим переход от частных задач (огнезащита, биозащита, достижение требуемых физико-механических и теплофизических показателей, обеспечение декоративных свойств) к комплексным решениям.

Возвращаясь к проблеме огнезащиты, необходимо отметить, что благодаря работам ряда исследовательских групп применение современных технологий позволяет обеспечить достаточно высокие показатели пожарной безопасности ДК. В частности, наиболее надежным сегодня считается метод конструктивной защиты, заключающийся в обшивке древесины термически толстым слоем негорючего (НГ) или слабогорючего (Г1) материала (обычно с применением гипсокартонных или гипсоволокнистых листовых материалов). Данный способ защиты, однако, имеет ряд существенных недостатков:

- повышаются требования к несущей способности конструкций здания и соответственно расход лесоматериалов вследствие высокой собственной массы конструкций с конструктивной огнезащитой;
- не обеспечивается защита от развития дереворазрушающих грибов и микроорганизмов, возможно формирование скрытых очагов поражения;
- не исключается вероятность скрытого распространения горения (тления древесины) под огнезащитной обшивкой в случае нарушения ее целостности в процессе эксплуатации;
- утрачивается декоративная составляющая применения древесины, что приводит

к обязательному использованию дополнительной отделки.

Более того, с точки зрения обеспечения пожарной безопасности конструктивная защита способна выполнять свою функцию только после того, как полностью будет завершен монтаж. В случае возникновения открытого очага возгорания в период строительства до того, как установлено остекление и заделаны все технологические стыки, пожары развиваются с высокой динамикой и приводят, как правило, к полной утрате объекта строительства. В качестве примера можно привести пожар в Хьюстоне (США), где 25 марта 2014 г. был полностью уничтожен огнем незавершенный жилой комплекс Montrose [6]. В России возгорания на строительных площадках также не являются редкостью, однако в большинстве случаев они не попадают в статистические сводки по причине «несоответствия критериям» пожара, определенным приказом МЧС России от 21.11.2008 № 714 «Об утверждении Порядка учета пожаров и их последствий».

Между тем достаточно высокие показатели пожарной безопасности деревянных конструкций могут быть достигнуты и с применением неконструктивной огнезащиты. Такие технические решения связаны с использованием вспучивающихся лакокрасочных или рулонных покрытий [4], а также огнебиозащитных пропитывающих систем. При этом, с нашей точки зрения, в основе комплекса мер по обеспечению безопасности строительных конструкций из цельной и клееной древесины должно стоять использование именно пропитывающих систем, которое позволяет проводить модификацию поверхностных слоев древесного вещества, обеспечивая наиболее надежную и долгосрочную защиту. При выборе состава огнебиозащитной композиции можно учесть особенности и срок эксплуатации конструкции или материала, а также способ обработки. Проведенные нами исследования показывают, что использование метода поверхностной обработки позволяет достигать класса пожарной опасности конструкции K2/15 [1], глубокой пропитки – K2/45 и K1/15 [3].

Основным спорным моментом с точки зрения использования метода глубокой пропитки всегда являлось возможное негативное влияние на физико-механические свойства конструкций [5], однако, как показывают полученные нами результаты, требуемый уровень огнезащитности при пропитке гидроимпульсным методом может достигаться при достаточно невысоких (до 25–30 кг/м³) уровнях поглощения огнебиозащитных составов, не оказывая негативного влияния на эксплуатационные свойства древесины (табл. 1).

При этом указанный уровень поглощений не представляет собой граничную линию, ниже которой огнезащита не будет обеспечиваться, а определяет свойства тех конкретных огнезащитных систем, которые были нами исследованы. Более того, даже в рамках наших исследований было установлено, что по ряду показателей пожарной опасности достаточно высокая эффективность может достигаться при меньших расходах. Так, нам удалось определить, что составы на основе кислотообразующих соединений способны обеспечивать перевод материала в группу РП1 (медленно распространяющие) при поглощениях от 10 кг/м³ (табл. 1). Дальнейшие исследования в области подбора компонентных соотношений составов, а также технологий пропитки и постобработки (термообработка, получение клееного бруса из импрегнированной древесины и др.), как нам представляется, способны обеспечить возможность получения конструкций класса пожарной опасности K0/15–K0/30 с одновременным обеспечением высоких показателей биозащиты и сохранением физико-механических и теплофизических характеристик деревянных конструкций.

Актуальность проведения дальнейших исследований компонентного состава огнебиозащитных систем и методов пропитки ими обуславливается также их способностью эффективно сочетаться с другими видами и способами огнезащиты,

обеспечивая деревянным конструкциям базовые характеристики, определяющие минимально необходимый уровень пожарной безопасности в зависимости от предполагаемой области применения.

Таблица 1. Классификация материалов по показателям прочности и пожарной опасности в зависимости от величины поглощения антипиренов

| Условное обозначение состава | Состав 1 (кислотообразующий) | Состав 2 (кислотообразующий) | Состав 3 (вспучивающийся) |
|--|---|---|--|
| Воспламеняемость | В2 (при уровнях поглощения более 25 кг/м ³) | В2 (при уровнях поглощения более 40 кг/м ³) | В2 (при уровнях поглощения более 19 кг/м ³) |
| Индекс распространения пламени | Не распространяющие (при уровнях поглощения более 25 кг/м ³) | | Быстро распространяющие (в диапазоне поглощений до 28 кг/м ³) |
| | Медленно распространяющие (при уровнях поглощения более 10 кг/м ³) | | |
| Дымообразующая способность | Д2 (в диапазоне поглощений 40–75 кг/м ³) | Д2 (в диапазоне поглощений 40–75 кг/м ³ и более 200 кг/м ³) | Д2 (в диапазоне поглощений более 45 кг/м ³) |
| | Д1 (в диапазоне поглощений 75–200 кг/м ³) | | Не достигается |
| Характер влияния на прочностные характеристики | | | |
| Прочность на изгиб | Не влияет (в диапазоне поглощений до 80 кг/м ³) | Снижение (при уровне поглощений более 30–40 кг/м ³) | Не влияет (в диапазоне поглощений до 15 кг/м ³) |
| Прочность при сжатии | Повышение (при уровнях поглощения более 40 кг/м ³) | Не влияет (в диапазоне поглощений до 45 кг/м ³) | Не влияет (в диапазоне поглощений до 30 кг/м ³) |
| Прочность на скалывание | Не влияет (в диапазоне поглощений до 100 кг/м ³) | Повышение (при уровнях поглощения более 100 кг/м ³) | Не влияет (в диапазоне поглощений до 45 кг/м ³) |

ЛИТЕРАТУРА

1. Анохин Е.А. Повышение класса пожарной опасности деревянных конструкций длительного срока эксплуатации: дисс. ... канд. техн. наук, 05.26.03. М.: 2017. 236 с.
2. Ишмухаметов Н.С., Шестакович А.Г., Теляшева Э.А. Организационно-экономические условия лесопользования в регионах севера России и Сибири / Вестник Башкирского университета. 2016. Т. 21. № 4. С. 949–952.
3. Нигматуллина Д.М. Снижение пожарной опасности деревянных конструкций способом их глубокой пропитки огнебиозащитными составами: дисс. ... канд. техн. наук, 05.26.03. Москва: АГПС, 2018. 201 с.
4. Полищук Е.Ю., Сивенков А.Б. Новые технические решения при обеспечении пожарной безопасности и огнестойкости конструкций из древесины и материалов на ее основе / Материалы XXIX Междунар. науч.-практ. конференции, посвященной 80-летию ФГБУ ВНИИПО МЧС России. 2017. С. 60–62.
5. Сморгачев А.А., Орлов Д.А., Кротова В.М. Исследование влияния огнезащитной пропитки конструкций из древесины на их напряженно-деформированное состояние

- / Труды Юго-Западного гос. университета. 2012. № 4. С. 20–21.
6. *Feldman C.* Fire official speculates on cause of Montrose blaze. URL: <https://www.chron.com/news/houston-texas/houston/article/Fire-official-speculates-on-cause-of-Montrose-5347617.php> (дата обращения 27.03.2018).
 7. Fire safety in timber buildings. Technical guideline for Europe / SP Report 2010:15. 8 p.
 8. *Gorvett Z.* «Plyscrapers»: The rise of the wooden skyscraper / BBC future. October, 31, 2017. URL: <http://www.bbc.com/future/story/20171026-the-rise-of-skyscrapers-made-of-wood> (дата обращения 27.03.2018).
 9. *Marsh J.* Spreading like wildfire: why wooden skyscrapers are springing up across the world / CNN style, august 9, 2016. URL: <http://edition.cnn.com/2016/04/26/design/wooden-skyscrapers-timber-trend-catching-fire/> (дата обращения 27.03.2018).

PROVISION OF COMPLEX SAFETY OF TIMBER CONSTRUCTION BY MODERN MEANS AND METHODS OF FIRE AND BIOPROTECTION

E.Y. POLISHCHUK, A.B. SIVENKOV, E.A. ANOHIN, S.K. KENJEHAN,
D.M. NIGMATULLINA, B.B. SERKOV

Fire Academy of Emercom of Russia, Moscow, Russia (epyr@ya.ru)

The investigation results of possibilities of deep impregnation methods are presented from point of view of provision of complex safety of timber construction.

ВЛИЯНИЕ ГУСТОТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ПОСАДОК НА РАДИАЛЬНЫЙ ПРИРОСТ ХВОЙНЫХ КУЛЬТУР

Л.С. ПШЕНИЧНИКОВА

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (taiga@ksc.krasn.ru)

Плотность (густота) ценозов древесных растений – важнейший фактор, определяющий интенсивность роста, характер взаимодействия между растениями и эффекты этого взаимодействия. Одним из показателей реакции деревьев на различную густоту древостоев является величина радиального прироста.

Цель предлагаемой работы – оценить динамику изменения радиального прироста под влиянием густоты в молодых хвойных ценозах искусственного происхождения.

Работы проводились в экспериментальных разнугустотных посадках сосны обыкновенной (*Pinus silvestris* L.), лиственницы сибирской (*Larix sibirica* L.), ели сибирской (*Picea obovata* L.), заложенных в 1982 году по инициативе и под руководством А.И. Бузыкина на базе Большемуртинского стационара (подзона южной тайги).

Эксперимент с посадками 2-летними сеянцами представлял собой восходящий по густоте ряд, состоящий из 18 вариантов густоты – от 0,5 до 128 тыс. экз. га⁻¹.

Изменение радиального прироста рассматривалось за 23-летний период, с 1984 по 2006 г. Отбор образцов (кernов) производили на господствующих деревьях, по 5–7 шт. в каждом варианте густоты; на высоте 0,5 м от поверхности почвы. Всего было взято 105 kernов.

В отличие от естественных насаждений в организованных разнугустотных посадках, где соблюдены абсолютная одновозрастность, одинаковость почвенных

и в целом лесорастительных условий и селекционная однородность, рост растений зависел только от возраста и конкурентных взаимодействий древесных растений, обусловленных густотой их ценозов.

Для устранения ценотического влияния на радиальный прирост в каждом варианте густоты в качестве модельных выбраны господствующие деревья, которые в меньшей степени меняют категорию своего положения в течение жизни [2]. В вариантах разной густоты категория господствующих деревьев существенно определяется начальной густотой посадки и в процессе дальнейшего роста молодняков обусловлена взаимовлиянием древесных растений в насаждении, т. е. густотой ценозов. Подробная методика организации разнугустотного эксперимента посадок хвойных культур отражена в монографии [1].

Выяснилось, что в раннем возрасте в посадках сосны и лиственницы примерно до 7 лет, у ели – до 9 лет ширина годичного слоя хвойных культур при неодинаковой плотности ценозов практически не различается и колеблется в пределах 1 мм. В этом возрасте древесные растения в посадках разной густоты еще не взаимодействуют и не конкурируют друг с другом за ресурсы среды, толщина годичного слоя отражают свободный рост растений. В последующие примерно 5–6 лет в процессе дальнейшего роста деревьев происходит интенсивное нарастание древесины, когда ширина годичного слоя возрастает с 1 до 4 мм. Несмотря на растущие с возрастом абсолютные показатели годичного кольца, отчетливой связи с густотой не прослеживается.

«Густотное» воздействие на величину радиального прироста в первую очередь проявляется в наиболее плотных посадках и переходит постепенно по мере снижения густоты к более редким. Окончательно по всем вариантам опыта влияние густоты выявляется у сосны и лиственницы примерно к 13 годам, у ели – к 15. Именно к этому возрасту четко проявляется результат механизма регулирования величины радиального прироста от густоты.

Корреляционная связь между эмпирическими и выровненными по показательной кривой значениями радиального прироста в пределах фактического густотного ряда хвойных ценозов в возрасте 15, 17, 20 и 25 лет оказалась высокой и составила для ели $R^2=0,80-0,81$, лиственницы $R^2=0,67-0,89$, сосны $R^2=0,75-0,85$. Наибольший радиальный прирост характерен для деревьев, растущих в свободном и редком стоянии. С увеличением густоты размеры деревьев и радиальный прирост снижаются. В раннем возрасте 5 и 12 лет связь среднегодового прироста с фактической густотой отсутствует.

Все кривые динамики радиальных годовых приростов независимо от густоты посадки за 23-летний период наблюдений имеют асимметричную колоколообразную форму. Во всех вариантах густоты обнаруживается сходная периодичность толщины годовых колец. Вследствие изменяющейся густоты формы кривых различаются и носят специфический характер (рис. 1).

В пределах каждого варианта густоты радиальный прирост в ценозах с возрастом сначала увеличивается, но после достижения максимальной величины снижается.

По мере загущения кривые динамики радиального прироста становятся более пологими за счет снижения абсолютных показателей толщины годичного слоя. В загущенных хвойных ценозах погодичные флуктуации прироста древесины менее выражены по амплитуде, чем в редких.

У древесных растений выявлена неодинаковая реакция на загущение по скорости прохождения фазы интенсивного роста. Густые культуры раньше смыкаются кронами, в них раньше начинается естественное изреживание, и они быстрее проходят фазу интенсивного роста по диаметру по сравнению с редкими. Так, у светлохвойных сосны и лиственницы сроки наступления максимального прироста в густотном ряду сдвинуты по времени на 2–11 лет, у темнохвойной ели на 3–11 лет.

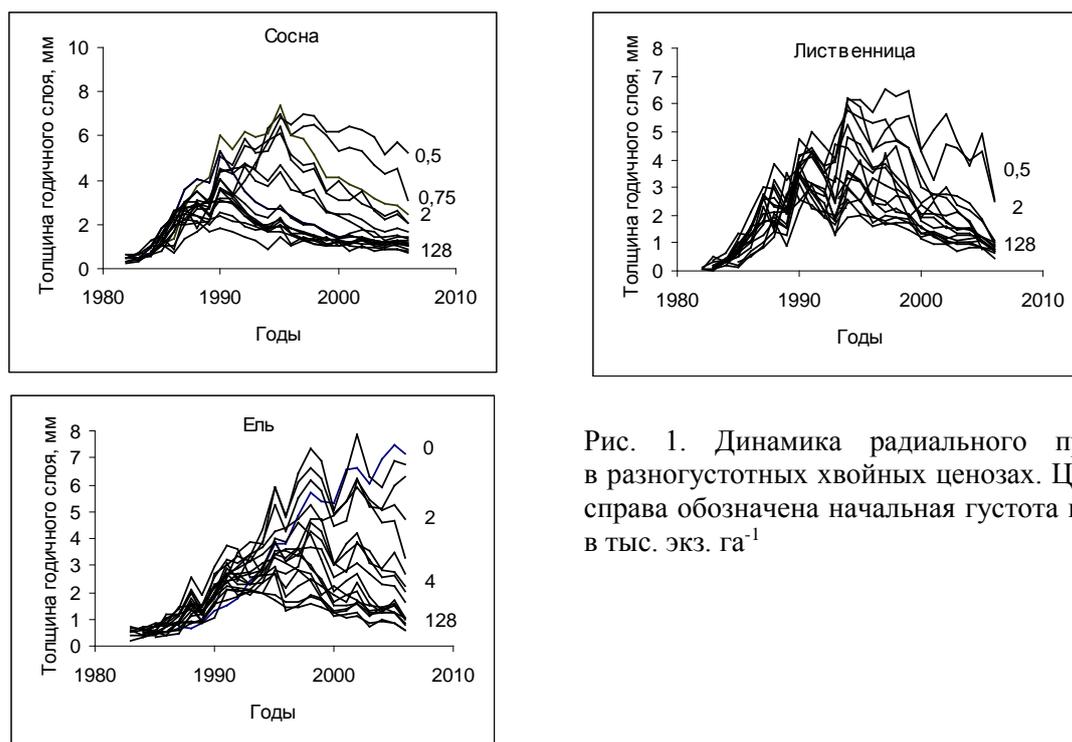


Рис. 1. Динамика радиального прироста в разногустотных хвойных ценозах. Цифрами справа обозначена начальная густота посадки в тыс. экз. га⁻¹

В редких ценозах продолжительность формирования максимального радиального прироста у сосны и лиственницы составляет 3–4 года, в густых ценозах сокращается до 1–2 лет. В редких ценозах ели период максимального прироста растягивается до 5–6 лет, в загущенных ценозах не превышает 2 лет. У одиночно растущих особей ели пик наивысшего прироста в 26 лет еще не закончился. Несмотря на существенно различную видовую биологию и экологию, возрасты наступления максимального прироста у лиственницы и ели очень близки (табл. 1).

Таблица 1. Статистические показатели среднегодового радиального прироста хвойных культур (1984–2006 гг.)

| № варианта | Густота посадки, тыс. шт./га | $X \pm m_x$, Мм | Год максимального прироста | $X \pm m_x$, мм | Год максимального прироста | $X \pm m_x$, мм | Год максимального прироста |
|------------|------------------------------|------------------|----------------------------|------------------|----------------------------|------------------|----------------------------|
| | | Сосна | | Лиственница | | Ель | |
| 1 | 0,5 | 4,4±0,42 | 1997 (17) | 3,6±0,44 | 2002 (22) | 4,2±0,42 | 2006 (26) |
| 2 | 0,75 | 4,2±0,40 | 1995 (15) | 4,1±0,42 | 2002 (22) | 4,3±0,48 | 2006 (26) |
| 3 | 1 | 4,0±0,38 | 1995 (15) | 3,5±0,33 | 2002 (22) | 4,1±0,50 | 2002 (22) |
| 4 | 1,5 | 3,4±0,31 | 1995 (15) | 3,0±0,38 | 2002 (22) | 3,4±0,36 | 2002 (22) |
| 5 | 2 | 3,4±0,30 | 1995 (15) | 2,9±0,38 | 2002 (22) | 3,4±0,40 | 2002 (22) |
| 6 | 3 | 2,8±0,24 | 1995 (15) | 2,6±0,27 | 1999 (19) | 2,5±0,25 | 1999 (19) |
| 7 | 4 | 2,6±0,26 | 1992 (12) | 2,8±0,30 | 1998 (18) | 2,4±0,24 | 1998 (18) |
| 8 | 6 | - | - | 2,5±0,29 | 1998 (18) | 2,0±0,22 | 1998 (18) |
| 9 | 8 | 2,1±0,25 | 1990 (10) | 2,1±0,25 | 1998 (18) | 2,3±0,25 | 1998 (18) |
| 10 | 10 | 1,9±0,17 | 1990 (10) | 2,1±0,19 | 1997 (17) | 2,2±0,25 | 1997 (17) |
| 11 | 12 | 1,6±0,17 | 1990 (10) | 2,0±0,22 | 1995 (15) | 1,9±0,21 | 1995 (15) |
| 12 | 16 | 1,6±0,17 | 1990 (10) | 1,9±0,19 | 1995 (15) | 1,6±0,19 | 1995 (15) |
| 13 | 24 | 1,7±0,15 | 1990 (10) | 1,8±0,17 | 1995 (15) | 1,8±0,20 | 1995 (15) |
| 14 | 32 | 1,6±0,18 | 1988 (8) | 1,7±0,17 | 1991 (11) | 1,7±0,18 | 1991 (11) |
| 15 | 48 | 1,7±0,17 | 1988 (8) | 1,7±0,18 | 1991 (11) | 1,6±0,15 | 1991 (11) |
| 16 | 64 | 1,7±0,1 | 1987 (7) | 1,8±0,19 | 1991 (11) | 1,3±0,12 | 1991 (11) |
| 17 | 96 | 1,5±0,11 | 1986 (6) | 1,8±0,14 | 1991 (11) | 1,5±0,09 | 1991 (11) |
| 18 | 128 | 1,3±0,10 | 1986 (6) | 1,2±0,12 | 1991 (11) | 1,8±0,15 | 1991 (11) |

Таким образом, реакция радиального прироста на густоту в молодых разнугустотных ценозах светолюбивых пород-лесообразователей – сосны, лиственницы и теневыносливой ели – происходила однонаправленно и однотипно.

За 23-летний период наблюдений для каждого варианта плотности динамика радиального прироста у господствующих деревьев выражалась асимметричной колоколообразной кривой, а увеличение густоты ценозов от свободного и редкого стояния до загущения приводило к уменьшению толщины годичных слоев и более раннему прохождению деревьями фазы интенсивного роста.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Густота* и продуктивность древесных ценозов / А.И. Бузыкин, Л.С. Пшеничникова, В.Г. Суховольский. Новосибирск: Наука, 2002. 152 с.
2. Комин Г.Е. К методике дендроклиматологических исследований // Труды Ин-та экол. растений и животных. 1970. Вып. 67. С. 74–83.

INFLUENCE OF DENSITY OF EXPERIMENTAL PLANTINGS ON THE RADIAL GROWTH OF CONIFEROUS CULTURES

L.S. PSHENICHNIKOVA

V.N. Sukachev Institute of Forest SBRAS, Krasnoyarsk, Russia (taiga@ksc.krasn.ru)

Issue is devoted to considered dynamics of a radial growth of trees in 26-years cultures of a *Pinus silvestris*, *Larix sibirica*, *Picea obovata* with density of a planting from 0,5 up to 128 thousand trees per hectare.

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ В СМЕШАННЫХ ЛЕСНЫХ КУЛЬТУРАХ ЛИСТВЕННИЦЫ И СОСНЫ В ПРИАНГАРЬЕ

Е.М. РУНОВА¹, Д.В. СЕРКОВ²

¹ Братский государственный университет, Братск, Россия (runova0710@mail.ru)

² Братский государственный университет, Братск, Россия (serkov-denis@mail.ru)

Особенности древесины в молодом возрасте позволяют получить информацию о качестве формирования древесины в целом, особенно в возрасте рубки. Закономерности строения и роста, формирования и структуры смешанных древостоев сибирской тайги изучены недостаточно. Насаждения с преобладанием хвойных пород являются наиболее ценными в лесохозяйственном и экосистемном плане. Для правильного ведения в них хозяйства требуется разработка лесохозяйственных нормативов, в полной мере отражающих их особенности [1, 2, 3, 4]. Сохранение биологического разнообразия в природных объектах – важнейшая задача, которая в условиях промышленной эксплуатации лесов приобретает первостепенное значение. Планирование лесовосстановительных мероприятий должно ориентироваться на выращивание высокопродуктивных смешанных древостоев, поэтому необходимо знать основные закономерности их формирования, роста и строения.

Цель работы заключается в исследовании и решении проблемы повышения продуктивности насаждений путем формирования смешанных высокопродуктивных

лиственнично-сосновых древостоев и организации в них хозяйства в условиях Иркутской области. Для достижения указанной цели поставлены следующие задачи: исследовать опытные объекты смешанных лиственнично-сосновых лесных культур и оценить их продуктивность и основные таксационные показатели; оценить качество древесины по следующим показателям: средняя ширина годичного слоя, процент ранней и поздней древесины, среднее количество годичных слоев в 1 сантиметре, определение относительных прочностных показателей древесины инструментальным неразрушающим методом с помощью резистографа.

В качестве объекта исследования выбран экспериментальный участок смешанных лесных культур в Куйтунском лесничестве Иркутской области. Лесные культуры созданы на месте гари. Площадь лесных культур составляет 214 гектаров, лесные культуры были созданы посевом в 1996 году. В настоящее время возраст лесных культур составляет 21 год. При создании лесных культур проводилась частичная предпосевная подготовка почвы плугом ПЛП-135. Расстояние между бороздами 2 метра, ширина вспаханной борозды – 1,35 метра. Участок имеет тип лесорастительных условий В₂ – свежие супесчаные почвы, тип леса разнотравно-брусничный. Семена приобретались в Республике Тыва (г. Кызыл). Семена сосны и лиственницы 1 класса качества. Посев проводился весной, при посеве семена равномерно перемешивались в пропорции 70 % лиственницы, 30 % сосны. Посев проводился вручную рядами. Расход семян на 1 гектаре лесных культур – 0,65 г, всего на площади израсходовано 140 кг семян сосны и лиственницы. Средние таксационные показатели лесных культур в настоящее время приведены в табл. 1. Средний класс бонитета исследуемого древостоя составляет 1,5, запас на 1 гектаре составляет 73,6 м³.

Таблица 1. Средние таксационные показатели смешанных лесных культур лиственницы и сосны

| Состав | Тип леса и тип лесорастительных условий | Средняя высота, м | Средний диаметр, см | Средний класс бонитета | Полнота относительная | Средний запас на 1 га, м ³ |
|-------------|---|-------------------|---------------------|------------------------|-----------------------|---------------------------------------|
| 7ЛЗС | Л. Бр./В ₂ | 10,1 | 8,7 | 1,5 | 0,77 | 73,6 |
| лиственница | Л. Бр./В ₂ | 11,3 | 9,3 | 1,0 | 0,56 | 51,7 |
| сосна | Л. Бр./В ₂ | 8,9 | 8,1 | 3,0 | 0,21 | 21,9 |

С целью определения показателей макроструктуры древесины сосны и лиственницы были спилены модельные деревья в количестве 20 деревьев лиственницы и 20 деревьев сосны. Спилы брались у основания деревьев. Ширина годичных слоев, количество годичных слоев в 1 см древесины, размер ранней и поздней древесины определялись с помощью электронного штангенциркуля Matrix с точностью до 0,01 мм. Полученные результаты обрабатывались с помощью компьютерной программы Excel.

Результаты измерений представлены в табл. 2.

Как видно из табл. 2, в перегущенных лесных культурах лиственницы и сосны идет интенсивная дифференциация деревьев, о чем свидетельствует диапазон диаметров от 6 до 18 сантиметров на высоте 1,3 метра. При этом у деревьев различных классов Крафта (от I до IV) средняя ширина годичного слоя практически одинакова. Поскольку возраст лесных культур составляет 21 год на момент исследования, в годичных слоях преобладает ранняя древесина: от 66 до 80 %, поздняя древесина у молодых деревьев занимает 19–34 %. В более позднем возрасте процент поздней древесины существенно увеличится. Стволы хорошо очищены от сучьев, прямые, полнодревесные, что в дальнейшем позволит сформировать высокопродуктивный качественный древостой. В работе проведено исследование изменений показателей макроструктуры древесины сосны и лиственницы по пятилетиям. Данные

представлены в табл. 3.

Таблица 2. Основные показатели макроструктуры стволов сосны и лиственницы по ступеням толщины

| ступени толщины | порода | % ранней древесины | % поздней древесины | сред. ширина годового слоя, мм | d в коре, см | d без коры, см |
|--------------------|-------------|-----------------------|------------------------|---|--------------|-------------------|
| 6 | Сосна | 67,40±3,46 | 32,04±1,54 | 2,87±0,16 | 5,9±0,34 | 4,6±,24 |
| | Лиственница | - | - | - | - | - |
| 8 | Сосна | 69,06±4,01 | 30,98±1,49 | 3,29±0,21 | 8,9±0,59 | 7,1±0,47 |
| | Лиственница | 68,36±3,93 | 31,64±0,98 | 2,40±0,18 | 8,9±1,06 | 7,2±0,56 |
| 10 | Сосна | 67,84±4,86 | 32,16±1,50 | 1,28±0,09 | 10,4±2,01 | 8,6±0,51 |
| | Лиственница | 73,03±4,19 | 26,98±0,89 | 3,19±0,17 | 9,5±0,99 | 7,6±0,43 |
| 12 | Сосна | 71,15±5,13 | 28,85±0,91 | 3,84±0,45 | 11,9±2,34 | 9,4±0,33 |
| | Лиственница | 71,88±4,98 | 28,12±2,00 | 3,37±1,20 | 12,7±2,54 | 9,4±0,59 |
| 14 | Сосна | 65,05±3,98 | 34,95±1,43 | 3,33±1,07 | 15,3±0,87 | 12,7±0,97 |
| | Лиственница | 67,68±4,02 | 32,33±1,67 | 2,14±1,00 | 13,3±0,69 | 11,8±1,01 |
| 16 | Сосна | 68,02±3,96 | 31,98±2,01 | 4,10±2,03 | 16,3±0,78 | 13,6±1,23 |
| | Лиственница | 80,83±5,43 | 19,18±0,99 | 3,56±1,35 | 16,3±0,91 | 15,4±1,12 |
| 18 | Сосна | 66,55±3,12 | 33,45±1,37 | 6,08±3,42 | 18,1±0,69 | 15,3±1,05 |
| | Лиственница | - | - | - | - | - |

Таблица 3. Динамика изменения некоторых показателей макроструктуры древесины сосны и лиственницы от 1 года до 20 лет

| Возраст, лет | Сосна | | | лиственница | | |
|-----------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------|
| | Ранняя древесина, мм | Поздняя древесина, мм | % поздней древесины | Ранняя древесина, мм | Поздняя древесина, мм | % поздней древесины |
| 1–5 | 2,10±0,16 | 0,77±0,17 | 27,38±1,59 | 1,81±0,09 | 0,78±0,09 | 36,96±1,97 |
| 6–10 | 3,47±0,23 | 1,25±0,12 | 26,52±1,98 | 3,15±1,22 | 1,34±0,04 | 30,48±1,54 |
| 11–15 | 2,97±0,98 | 1,22±0,16 | 29,74±2,01 | 3,09±1,56 | 1,23±0,05 | 38,03±2,03 |
| 16–20 | 2,53±0,22 | 1,21±0,16 | 32,18±2,13 | 1,84±0,99 | 1,23±0,09 | 38,37±1,96 |

Как видно из табл. 3, в исследованных модельных деревьях сосны и лиственницы содержание поздней древесины в годовичных слоях сначала увеличивается в направлении от сердцевины к коре, достигает максимума, а затем в слоях, расположенных ближе к коре, уменьшается. При этом заметно, что лиственница формирует более мелкослойную древесину с большим содержанием поздней древесины. Процент поздней древесины у лиственницы в среднем на 10 % превышает процент поздней древесины сосны, а средняя ширина годовичного слоя сосны несколько больше, чем у лиственницы, что соответствует биологическим особенностям данных древесных видов. Дополнительно произведена оценка качества древесины с использованием прибора Resistograph у 4450 модельных деревьев сосны и лиственницы (всего 40 деревьев). Резистограммы показали хорошее качество ствола без признаков понижения твердости древесины (рис. 1).

При сравнении резистограмм видно, что древесина лиственницы (рис. 1) дает более выраженные отличия в условной плотности ранней и поздней древесины по сравнению с сосной (рис. 2).

На основании проведенных исследований можно сделать выводы, что смешанные лесные культуры являются перегушенными в рядах. Они обладают достаточно высокой энергией роста, характеризуются хорошими таксационными показателями.

В насаждениях происходит интенсивная дифференциация по диаметру и высоте. Показатели макроструктуры древесины сосны и лиственницы отличаются друг от друга по средней ширине годичного слоя, проценту поздней древесины. В лесных культурах формируются ровные полнодревесные стволы с хорошими физико-механическими свойствами древесины. Рекомендуется вовремя провести рубки ухода по низовому методу, с вырубкой отстающих и отставших в росте деревьев в рядах, что позволит увеличить прирост по диаметру и высоте, продуктивность экспериментальных лесных культур. Также лесохозяйственным организациям рекомендуется в соответствующих лесорастительных условиях практиковать создание смешанных лесных культур сосны и лиственницы посевом или посадкой, тем самым сохраняя лиственницу как преобладающую древесную породу российских лесов.

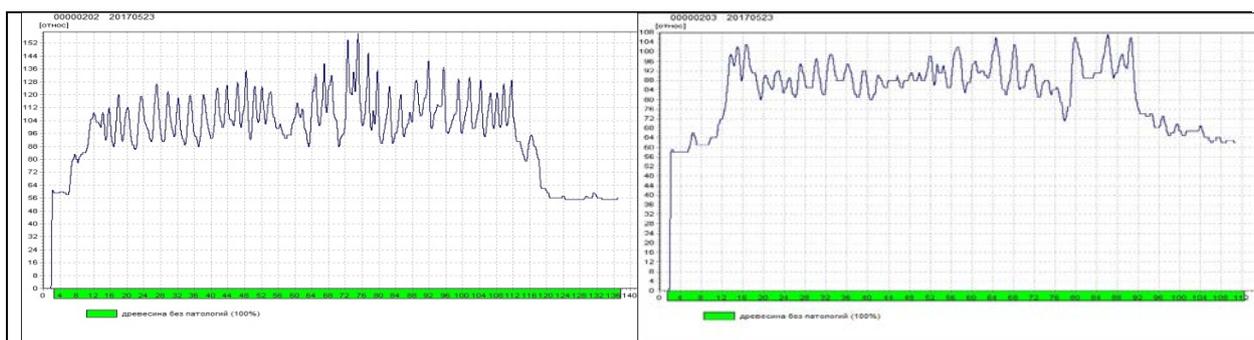


Рис. 1. Резистограмма лиственницы сибирской. Древесина здорова, без патологий

Рис. 2. Резистограмма сосны обыкновенной. Древесина здорова, без патологий

ЛИТЕРАТУРА

1. Варакин Г.С., Поляков В.И., Инюшкин С.В. Оценка состояния и роста опытных культур сосны и лиственницы в подзоне южной тайги Средней Сибири // Лесохозяйственная информация. 2002. № 9. С. 23–28.
2. Ключников М.В., Парамонов Е.Г. Лесоводственная характеристика лиственничных лесов на юге Западной Сибири // Хвойные бореальной зоны. 2008. Т. XXV. № 1–2. С. 51–58.
3. Рунова Е.М., Куникеева А.А. Некоторые особенности роста и развития сосново-лиственничных насаждений Приангарья // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2009. № 1.
4. Формирование сосново-лиственных молодняков / Бузыкин А.И., Пшеничникова Л.С. Новосибирск: Наука, 1980. 174 с.

SOME PECULIARITIES OF FORMING WOOD IN MIXED FOREST CULTURES OF LARCH AND PINE IN PRIANGARYE

E.M. RUNOVA¹, D.V. SERKOV²

¹ Bratsk State University, Bratsk, Russia (runova0710@mail.ru)

² Bratsk State University, Bratsk, Russia (serkov-denis@mail.ru)

The results of research of some indicators of macrostructure of larch – pine forest cultures created by sowing are given. Based on the studies conducted, it can be concluded that mixed forest cultures are dense in the ranks. They have rather high energy of growth, they are characterized by good taxation indicators. The macrostructure indices of pine and larch wood differ from each other in the average width of the annual layer, the percentage of late wood. In forest cultures, even full-tree trunks with good physical and mechanical properties of wood are formed.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕРАБОТКИ КОРЫ ХВОЙНЫХ ПОРОД СИБИРИ

А.В. СЕМЕНОВИЧ, Г.В. ПЕРМЯКОВА, О.А. ШАПЧЕНКОВА, А.А. АНИСКИНА

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (semenovich_a@ksc.krasn.ru)

Одной из наиболее острых экологических проблем в Сибири является проблема обращения с отходами производства деревообрабатывающей отрасли, в частности, с корой хвойных древесных пород. Как на начальном этапе развития лесной промышленности, так и в настоящее время основным вопросом является не применение коры, а ее уничтожение: сжигание в топках котельных и депонирование на свалках. Скопление коры приводит к ее самовозгоранию и образованию высококонцентрированных фенольных стоков, содержащих вредные и ядовитые химические вещества, в результате чего наносится большой вред окружающей среде, ухудшается экологическая обстановка во всем регионе. Однако по своему химическому составу и анатомо-морфологическим характеристикам кора хвойных пород – уникальное сырье для получения продуктов производственно-технического назначения.

В лаборатории физико-химической биологии древесных растений Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН создан ряд инновационных продуктов из коры хвойных древесных пород *Larix sibirica* Ledeb, *Pinus sylvestris* L., *Abies sibirica* L. [1].

Химическое модифицирование коры методом фенолформальдегидной поликонденсации в присутствии кислотного или основного катализатора позволило получить сорбенты с катионообменными свойствами по отношению к катионам Cu^{2+} , Zn^{2+} , Cr^{3+} , Pb^{2+} , Ni^{2+} [9]. Сорбционная способность модифицированной коры (МК) по отношению к катионам варьировала от 0,57 до 46,26 мг/г сухого вещества сорбента. Модифицированная кора способна извлекать из водных растворов и крупные органические катионы красителя метиленового голубого (МГ), ее сорбционная способность по отношению к МГ изменялась от 18,90 до 42,10 мг/г [7]. На величину сорбции как катионов металла, так и красителя сорбентом влияют: тип исходного сырья, продолжительность модифицирования, тип катализатора (кислотный или основной), pH среды, природа катиона металла, исходная концентрация катионов в водном растворе, отношения «масса сорбента: объем раствора». Полученные сорбенты имеют малую насыпную плотность (до 0,21 г/см³), невысокую степень набухания в воде (до 0,24) и влажность в воздушно-сухом состоянии (до 11,07 %).

Способность МК извлекать катионы металлов и красителей повышается при увеличении концентрации растворов. Максимальная сорбционная способность по отношению к катионам проявилась у коры всех пород, модифицированной в присутствии основного катализатора. При низких концентрациях катионов в растворе (~10 мг/дм³) катионы Zn^{2+} сорбируются лучше, чем Cu^{2+} , Cr^{3+} , Pb^{2+} , Ni^{2+} , всеми препаратами коры, при высоких концентрациях (~200 мг/дм³) – катионы Pb^{2+} . Хуже всего извлекаются из растворов катионы Cr^{3+} . Наиболее эффективным сорбентом для извлечения катионов Cu^{2+} , Zn^{2+} , Cr^{3+} , Ni^{2+} из водных растворов является модифицированная кора сосны, катионов Pb^{2+} – модифицированная кора лиственницы; для извлечения МГ – модифицированная кора пихты.

В табл. 1 приведены данные по сорбционной способности полученных нами сорбентов в сравнении с наиболее известными сорбентами, применяемыми для очистки сточных вод от катионов металлов, красителей и с целью сбора нефтепродуктов. Как видно из представленных данных, модифицированная кора основных лесообразующих

пород Сибири обладает хорошими сорбционными свойствами по отношению ко всем рассмотренным сорбатам.

Таблица 1. Сорбционная способность сорбентов, полученных из различного сырья

| Сорбент | Сорбционная способность | Литература |
|--|-------------------------|--------------------------|
| по отношению к катионам Cu^{2+} , мг/г | | |
| Сульфированная древесина ели (пиридинсульфотриоксидом в органической среде) | 6,35 | [5] |
| Кислотный гидролиз рисовой шелухи, 2-стадийный окислительный обжиг (300, 600 °С) | 6,13 | [11] |
| Модифицированная кора <i>Larix sibirica</i> L., <i>Pinus sylvestris</i> L., <i>Abies sibirica</i> L. | 0,82–28,67 | [данная работа] |
| по отношению к катионам метиленового голубого, мг/г | | |
| Полифепан фармакопейный | 60 | [12] |
| Уголь активированный (таблетки) | 31 | |
| Модифицированный шрот семян <i>Pinus sibirica</i> L. | 28 | |
| Термообработанная скорлупа кедровых орехов | 20 | [6] |
| Модифицированная кора <i>Larix sibirica</i> L., <i>Pinus sylvestris</i> L., <i>Abies sibirica</i> L. | 17,72–42,10 | [данная работа] |
| по отношению к нефтепродуктам, г/г | | |
| Унисорб (карбамид) | 43–67 | [применяющиеся сорбенты] |
| Новосорб (минерал) | 6 | |
| Сорбойл (торф) | 4–6 | |
| Модифицированная кора <i>Pinus pinaster</i> | 0,2–2,0 | [14] |
| Модифицированная кора <i>Pinus resinosa</i> Ait | 0,083 | [15] |
| Модифицированная кора <i>Larix sibirica</i> L., <i>Pinus sylvestris</i> L., <i>Abies sibirica</i> L. | 1,71–8,23 | [данная работа] |

Сорбенты, насыщенные катионами, регенерируют путем обработки 1N раствором соляной кислоты. Отработанный сорбент может подвергаться регенерации 4 раза. Сорбционная способность регенерированного сорбента составляет 70 % от первоначальной и не меняется от 2 до 4 циклов [13].

Насыщенная микро- и макроэлементами питания растений модифицированная кора служит хорошим дополнением к субстрату, необходимому при выращивании растений: улучшаются дренирующие свойства субстрата, повышается плодородие почвы, снижается ее кислотность; выявлена ростостимулирующая активность полученного препарата. Субстрат может найти применение в тепличном овощеводстве, при зеленом строительстве в городах и поселках края для отсыпки приствольных кругов декоративных древесных растений в садово-парковых насаждениях, скверах.

Распространенным способом извлечения биологически активных экстрактивных веществ (ЭВ) из коры является метод экстракции. Одним из путей повышения эффективности процесса экстрагирования является поиск экстрагентов, обеспечивающих высокую степень извлечения целевых компонентов. Сотрудниками лаборатории подана заявка на изобретение [10], в которой предложен новый способ извлечения ЭВ из данного типа сырья. Способ экстракции позволяет извлекать из коры лиственницы, сосны и пихты до 58 % (к массе абс. сух. сырья) низкомолекулярных веществ и до 50 % (к массе абс. сух. экстракта) фенольных соединений. Увеличение массовой доли органического растворителя в экстрагенте и повышение температуры экстракции приводят к возрастанию выхода ЭВ. Предлагаемые варианты экстракции коры имеют преимущества перед существующими технологиями по суммарному выходу ЭВ, качественному составу экстрактов и «технологичности» процесса

экстрагирования.

Предварительные испытания антибактериальной активности экстрактов в отношении патогенных и условно-патогенных микроорганизмов указывают на перспективность разработки на их основе антимикробных композиций парфюмерно-косметологического и медицинского назначения.

В лабораторных условиях испытаны тонирующие составы для защиты деревянных конструкций от влаги, грибов на основе экстрактов. По своим санитарно-гигиеническим, эстетическим и технологическим характеристикам тонирующие составы не уступают импортным и тем, что завозят в край из других регионов. Производство из местного сырья снизит дефицит этого продукта.

Твердые остатки коры после экстракции обладают поглотительной способностью по отношению к сырой нефти от 1,71 до 2,96 г нефти / г воздушно-сухой коры, по отношению к углеводородным маслам от 1,86 до 5,32 г/г, по отношению к концентрированной эмульсии «м/в» от 4,70–8,23 г/г [8]. Наиболее эффективные поглотители получены из коры сосны и лиственницы, наименее – из коры пихты.

Гидрофобизацией кремнийорганическим гидрофобизатором полиметилсилоксановой жидкостью ПМС-100 твердого остатка коры лиственницы (или сосны) после экстракции смесью вода-метилцеллозольв (8 %) – диметилформамид (2,5 %) получен поглотитель, обладающий плавучестью на поверхности воды до трех суток и пригодный для сбора проливов нефтепродуктов с водной поверхности [8]. Извлечение нефтепродуктов из поглотителей может быть произведено отжимом на фильтр-прессах, в центрифугах. Отработанные нефтесорбенты предлагается утилизировать как топливо, теплотворная способность которого достигает 35 МДж/кг [3], или в качестве добавок при производстве кирпича (улучшает структуру кирпича, способствует повышению в 1,5 раза прочности на сжатие), керамзитового гравия (улучшает процесс «вспучивания», заменяет соляровое масло) [2].

Преимущества использования коры хвойных для изготовления товарных продуктов заключается в воспроизводстве и доступности сырья, относительной простоте, экспрессности переработки материала, нетоксичности получаемых продуктов, удовлетворительных и высоких эксплуатационных характеристиках. В процессе изготовления не требуются дорогостоящие модификаторы и разделение сырья (коры) по древесным породам. Привлекательна и экономическая эффективность использования коры: текущая цена 1 т коры с учетом поставки – около \$46 [4], стоимость производства 1 т МК – ~\$540 (для сравнения: стоимость 1 т ионообменной смолы КБ-4, адекватной по сорбционной емкости, составляет \$3627) [16].

Использование коры в качестве сырья для получения новых продуктов будет способствовать решению проблемы загрязнения окружающей среды многотоннажными отходами деревообработки на предприятиях Сибири, импортозамещению востребованных товарных продуктов, а также организации производства ряда продуктов на экспорт.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лоскутов С.Р., Семенович А.В., Анискина А.А., Пермякова Г.В., Пляшечник М.А. Продукты технического назначения из коры хвойных пород. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010. 113 с.
2. Верлинская Р.М., Берлин А.А. Модифицированные сорбенты на основе растительных материалов для очистки водной поверхности от нефтяных загрязнений // Изучение и пути использования древесной коры: тез. докл. краевой конф., Красноярск, 1985. С. 14–15.
3. Ивкина Т.М., Левин Э.Д. Нефтеемкость коры хвойных пород // Проблемы комплексного использования древесного сырья: тез. докл. Всесоюз. конф., Рига, 1984. С. 94–95.
4. Лесозаготовки и логистика в России – в фокусе научные исследования и бизнес-

- возможности / В. Гольцев, Т. Толонен, В. Сюнев и др. Vantaa, Finland: Изд-во НИИ леса Финляндии Metla, 2012. 159 с.
5. Лисова В.С. Сульфирование древесины пиридинсульфотриоксидом в органической среде // Химия древесины. 1983. 6. С. 87–89.
 6. Одинцова М.В. Физико-химические характеристики бифункционального сорбента из скорлупы кедровых орехов: автореф. дисс. ... канд. хим. наук: 02.00.04. Омск: ОмГУ им. Ф.М. Достоевского, 2010. 18 с.
 7. Семенович А.В., Лоскутов С.Р. Адсорбция катионных красителей модифицированной корой хвойных древесных пород // Химия растительного сырья. 2004. 3. С. 121–125.
 8. Семенович А.В., Лоскутов С.Р., Пермякова Г.В. Сбор проливов нефтепродуктов модифицированной корой хвойных пород // Химия растительного сырья. 2008. 2. С. 113–117.
 9. Семенович А.В., Шапченкова О.А., Анискина А.А. и др. Извлечение катионов Cu^{2+} , Zn^{2+} , Cr^{3+} , Pb^{2+} , Ni^{2+} из водных растворов модифицированной корой // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2016. 10 (144). С. 76–81.
 10. Способ извлечения биологически активных соединений из коры хвойных древесных пород / Заявка № 2017145249, дата приоритета 21.12.2017.
 11. Шевелева И.В., Холомейдик А.Н., Войт А.В. и др. Сорбенты на основе рисовой шелухи для удаления ионов $\text{Fe}(\text{III})$, $\text{Cu}(\text{II})$, $\text{Cd}(\text{II})$, $\text{Pb}(\text{II})$ из растворов // Химия растительного сырья. 2009. 4. С. 171–176.
 12. Шиков А.Н., Косман В.М., Пожарицкая О.Н. Сорбционные свойства шрота семян *Pinus sibirica* DU TOUR // Растительные ресурсы. 2002. 38 (3). С. 106–111.
 13. Gaballah I., Kibertus G. Recovery of heavy metal ions through decontamination of synthetic solution and industrial effluents using modified barks // Journal of Geochemical Exploration. 1998. 62 (1–3): 241–286.
 14. Haussard M., Gaballah I., Kanari N., et al. Separation of hydrocarbons and lipid from water using treated bark // Water Research. 2003. 37 (2): 362–374.
 15. Kalmykova Y., Steenari A.-M., Song B.-M. Alternative materials for adsorption of heavy metals and petroleum hydrocarbons from contaminated leachates // Environmental Technology. 2008. 29 (1): 111–122.
 16. Rous J. New materials are cropping up // Chemistry and Industry. 1992. 8: 284–285.

PERSPECTIVE PROCESSING OF THE SIBERIAN CONIFEROUS BARK

A.V. SEMENOVICH, G.V. PERMYAKOVA, O.A. SHAPCHENKOVA, A.A. ANISKINA

Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (semenovich_a@ksc.krasn.ru)

Methods of utilization of waste wood (bark) are considered in this paper. The methods allow to obtain the innovative products – sorbents of metal cations and dyes, oil sorbents, extracts with antibacterial activity, tinting solutions to protect wood from moisture and wood decaying fungi, the preparation containing with micro- and macronutrients of plant nutrition.

ИНГИБИРУЮЩЕЕ ВЛИЯНИЕ ЭКСТРАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ХВОЙНЫХ НА УСЛОВНО-ПАТОГЕННЫЕ МИКРООРГАНИЗМЫ

В.А. СЕНАШОВА, Г.В. ПЕРМЯКОВА, И.Д. ГРОДНИЦКАЯ, Н.В. ПАШЕНОВА,
А.А. АНИСКИНА, С.Р. ЛОСКУТОВ

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (vera0612@mail.ru)

Леса являются не только важнейшей экологической компонентой, но и стратегически важным ресурсом, который используется в строительной отрасли, в бумажной и легкой промышленности, а также как сырье в медицинской промышленности.

С понятием «лекарственные свойства растений» очень тесно связаны такие термины, как фитонциды (биологически активные вещества, образуемые растениями и подавляющие рост и развитие микроорганизмов) и фитонцидные свойства растений.

Нами была изучена фитонцидная активность хвои сосны обыкновенной, сосны кедровой, ели сибирской, можжевельника обыкновенного, можжевельника казацкого [1]. Установлено, что при прочих равных условиях по интенсивности фитонцидной активности можно выделить три группы: 1) ель, 2) можжевельник обыкновенный и сосна, 3) можжевельник казацкий и кедр. Причем наибольшее влияние на рост тестовых микроорганизмов оказали можжевельник обыкновенный и сосна, а наименьшее ель. Отмечено, что фитонцидная активность хвои в течение вегетационного сезона неодинакова, ее воздействие на отдельные группы микроорганизмов зависит от фенофазы растения. При этом бактериостатический и фунгиостатический эффекты были более выражены в первой половине вегетационного периода (когда происходит активный рост почек и побегов). В сентябре (фенофаза осеннего расцветивания листвы) сдерживание роста тестовых микроорганизмов либо было минимальным, либо не регистрировалось.

В связи с появлением в последнее время микроорганизмов, устойчивых к большинству известных антибиотиков, все больший интерес у исследователей вызывают природные объекты, которые могут служить сырьем для приготовления лекарственных средств, в том числе обладающих антимикробной активностью.

Красноярский край является лидером дереводобывающей промышленности, и перед ним остро стоит проблема утилизации древесных отходов, в частности, коры. Следует отметить, что наиболее актуален вопрос утилизации сосновой и пихтовой коры, поскольку она не является сырьем для производства дубильных экстрактов в отличие от лиственничной [2].

Кора хвойных содержит комплекс веществ, обладающих высокой биологической активностью и представляющих практически все классы органических соединений, встречаемых в растениях (экстрактивные вещества) [3].

С фармакологической и терапевтической точек зрения наиболее интересны фенольные соединения коры. Они действуют на эластичность капиллярных кровеносных сосудов, применяются как кровоостанавливающее средство и как местный антисептик, а также используются в качестве антиоксидантов и красителей.

Авторами предложен новый способ экстрагирования коры хвойных пород, заключающийся в использовании аминоспиртов (в частности, моноэтаноламина). Указанный способ получения экстрактивных веществ (ЭВ) коры хвойных обеспечивает существенно более высокий выход целевого продукта с повышенной долей соединений фенольной природы по сравнению с известными ранее [2]. Данным методом были получены концентраты экстрактивных веществ коры сосны, лиственницы и пихты, из которых в последующем были приготовлены 1- и 5%-й растворы. Следующий этап

работы заключался в исследовании чувствительности условно-патогенных микроорганизмов к полученным экстрактам хвойных.

В качестве тест-объектов использовали музейные культуры санитарно-показательных условно-патогенных (3–4 класс опасности) бактерий: *Klebsiella pneumonia* Т 904, *Escherichia coli* ATCC 39/21141, *Staphylococcus aureus* ATCC 25922, *Proteus vulgaris* МХ 19 и *Micrococcus luteus* ATCC 9341, полученные из Всероссийской коллекции микроорганизмов и ГИСК им. Тарасевича, которые были предоставлены лаборатории микробиологии и экологической биотехнологии ГорСЭС Красноярска.

Исследования показали, что все изучаемые концентраты хвойных оказывали бактериостатическое действие на рост тестовых микробов. Интенсивность воздействия (ширина зоны ингибирования роста вокруг бумажных фильтров) варьировала в зависимости от концентрата и вида тест-культур. При этом наибольшим бактериостатическим эффектом обладал сосновый концентрат, а наименьшим – пихтовый. Из исследуемых тестовых микроорганизмов более чувствительными оказались культуры *P. vulgaris*, *K. pneumonia* и *S. aureus*: зоны ингибирования варьировали от 4 до 12 мм. Небольшой бактериостатический эффект концентратов (зона ингибирования не более 4 мм) был отмечен для культур *E. coli* и *M. luteus* (табл. 1).

Таблица 1. Чувствительность (зона отсутствия роста, мм) условно-патогенных тестовых микроорганизмов к экстрактам хвойных*

| Вариант | <i>Escherichia coli</i> | | <i>Micrococcus luteus</i> | | <i>Staphylococcus aureus</i> | | <i>Proteus vulgaris</i> | | <i>Klebsiella pneumoniae</i> | |
|-----------------------------|-------------------------|----------------------|---------------------------|----------------------|------------------------------|----------------------|-------------------------|----------------|------------------------------|----------------------|
| | 3 сутки | 13 сутки | 3 сутки | 13 сутки | 3 сутки | 13 сутки | 3 сутки | 13 сутки | 3 сутки | 13 сутки |
| концентрат сосны (КС) | 3,61 ±1,19 | 3,89 ±1,31 | 3,86 ±0,34 | 4,3 ±1,23 | 11,45 ±1,55 | 9,66 ±0,42 | 8,53 ±0,57 | 10,15 ±0,71 | 9,42 ±0,18 | 8,01 ±0,38 |
| КС 5 % | 2,83 ±0,24 | 0,57 ±0,35 | 0 | 0 | 3,32 ±0,98 | 2,55 ±1,06 | 5,85 ±0,91 | 5,94 ±0,75 | 6,67 ±0,82 | 3,31 ±1,33 |
| КС 1 % | 0,61 ±0,41 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4,17 ±0,62 | 3,56 ±0,95 | 4,34 ±1,13 | 0,88 ±0,79 |
| концентрат пихты (КП) | 1,56 ±0,68 | 2,84 ±0,36 | 2,11 ±0,48 | 1,17 ±0,42 | 9,47 ±0,74 | 7,66 ±1,27 | 4,85 ±0,3 | 5,07 ±0,16 | 5,19 ±0,51 | 5,13 ±0,29 |
| КП 5 % | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| КП 1 % | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| концентрат лиственницы (КЛ) | 3,35 ±1,02 | 1,39 ±0,85 | 4,17 ±1,24 | 1,56 ±0,96 | 5,36 ±0,43 | 3,94 ±0,52 | 6,02 ±0,65 | 8,44 ±0,14 | 5,26 ±0,35 | 5,33 ±0,41 |
| КЛ 5 % | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3,99 ±1,01 | 2,46 ±0,5 | 3,3 ±1,0 | 1,93 ±0,9 |
| КЛ 1% | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,53 ±0,91 | 1,14 ±1,06 | 1,24 ±0,71 | 0 |

Примечание. * Жирным шрифтом выделено достоверное уменьшение зоны ингибирования роста по критерию Манна – Уитни при $P \leq 0,05$; курсивом – достоверное увеличение зоны ингибирования роста по критерию Манна – Уитни при $P \leq 0,05$.

Менее активное воздействие на тест-культуры оказывали растворы концентратов сосны и лиственницы. Растворы соснового концентрата демонстрировали более широкий спектр действия, ингибируя рост почти всех тестовых объектов, кроме *M.*

luteus. Бактериостатическое воздействие на тестовые микроорганизмы растворов концентрата пихты не выявлено. Следует отметить, что наиболее чувствительными культурами в нашем эксперименте оказались *P. vulgaris* и *K. pneumonia*, а наиболее устойчивой – культура *M. luteus*.

Учеты на 3 и 13 сутки инкубирования позволили оценить длительность бактериостатического воздействия концентратов и их растворов. В большинстве случаев средние показатели ширины зоны ингибирования тест-культур на 3 и 10 сутки эксперимента не отличались. В ряде случаев отмечено достоверное уменьшение ширины зоны ингибирования на 13 сутки, в вариантах: *K. pneumonia* – сосновый концентрат, *M. luteus* и *S. aureus* – лиственничный концентрат (см. табл. 1). Особо следует отметить, что для культуры *P. vulgaris* наблюдали достоверное увеличение зоны ингибирования роста вокруг фильтров с сосновым и лиственничным концентратами, что указывало на пролонгированное действие хвойных концентратов.

Таким образом, установлены бактериостатические свойства по отношению к условно-патогенным микроорганизмам. Отмечено, что разбавление концентратов снижает содержание бактериостатического компонента и приводит к более быстрому его «исчерпанию». Наиболее широким спектром воздействия обладает экстракт коры сосны обыкновенной. Полученные данные указывают на перспективность исследований в данном направлении для разработки антибиотических/обеззараживающих препаратов на основе растительных экстрактов хвойных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сенашова В.А. Фитопатогенные микромицеты филлосферы хвойных насаждений Средней Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. 104 с.
2. Пермякова Г.В., Лоскутов С.Р., Семенович А.В. Экстракция коры хвойных водой с добавлением моноэтаноламина // Химия растительного сырья. 2008. 1. С. 37–40.
3. Продукты технического назначения из коры хвойных пород / С.Р. Лоскутов, А.В. Семенович, А.А. Анискина и др. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010. 114 с.

INHIBITING INFLUENCE OF EXTRACTIVE SUBSTANCES OF CONIFEROUS ON OPPORTUNISTIC HUMAN PATHOGENIC MICROORGANISMS

V.A. SENASHOVA, G.V. PERMYAKOV, I.D. GRODNITSKAYA, N.V. PASHENOV,
A.A. ANISKINA, S.R. LOSKUTOV

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (vera0612@mail.ru)

The antibacterial activity of the extracts, which were obtained from coniferous species (*Larix sibirica* L., *Pinus silvestris* L., *Abies sibirica* L.) bark was determined against *Klebsiella pneumonia*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Proteus vulgaris*, and *Micrococcus luteus*. The coniferous bark was extracted by water with monoethanolamine additive. It was found that all concentrated extracts inhibited the growth of all the tested bacteria, but the extract of *Pinus silvestris* L. demonstrated greater inhibitory activity. The results showed that *Klebsiella pneumonia*, *Staphylococcus aureus*, and *Proteus vulgaris* are more sensitive to concentrated extracts compared to *Escherichia coli* and *Micrococcus luteus*. The diluted extracts (1 and 5 %) of *Larix sibirica* L., *Pinus silvestris* L. bark were less effective against the tested bacteria, and the extracts of *Abies sibirica* L. bark had no antibacterial effect.

МОНИТОРИНГ РОСТА АНТРОПОГЕННО НАРУШЕННЫХ СОСНОВЫХ СООБЩЕСТВ КРАСНОЯРСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ

В.В. СТАСОВА, Л.Н. СКРИПАЛЬЩИКОВА, А.П. БАРЧЕНКОВ

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (lara@ksc.krasn.ru)

В окрестностях Красноярска произрастают сосновые фитоценозы, длительное время подвергающиеся антропогенному прессу. В крупных сосновых массивах проводится многолетний комплексный мониторинг их экологического состояния. Одним из аспектов его является изучение динамики роста стволов в толщину по структуре годовых приростов флоэмы и ксилемы.

Цель работы – оценка динамики роста антропогенно нарушенных сосновых насаждений в изменяющихся экологических условиях.

В качестве объектов исследований были выбраны сосновые насаждения наиболее распространенной разнотравной группы типов леса, произрастающих в Красноярской лесостепи в зонах концентраций промышленного и рекреационного влияний Красноярска и для сравнения – в экологически чистых условиях. Наблюдения вели на наветренных опушках загрязненных сосновых массивов. Фоновым объектом выбран сосняк разнотравный в 100 км от города, вне основного переноса выбросов промышленности города. Изучались следующие лесные массивы:

- Сосновое насаждение в районе садоводческого некоммерческого товарищества (СНТ) «Строитель» в 10 км на восток от г. Красноярска. Сосняк разнотравный. Испытывает прямое влияние промышленных предприятий, а также высокую рекреационную нагрузку.
- Березовский бор в 10 км на юго-восток от города в направлении основного воздействия пылевых и газообразных выбросов промышленных предприятий города. Сосняк осочково-разнотравный с высокой рекреационной и пасквальной нагрузками.
- Есаульский бор в 30 км к северо-востоку от города по основному переносу воздушных масс. Сосняк разнотравно-осочково-зеленомошный. Характеризуется высокой степенью загрязнения выбросами промышленных предприятий города и интенсивной рекреационной нагрузкой.
- Погорельский бор расположен в 40 км от города и произрастает в условно чистом фоне. Сосняк кустарничково-разнотравно-зеленомошный.
- Юксеевский бор в 100 км на север от Красноярска, вне направления господствующих переносов воздушных масс. Фоновый объект. Сосняк разнотравный.

Изучение состояния проводящих и запасающих тканей стволов проводилось по методике, описанной ранее [4].

Ширина годовых слоев древесины в стволах сосен на высоте 1,3 м над уровнем почвы составляла от 1,2 до 2,5 мм, или от 35 до 70 клеток в разных сосновых насаждениях (рис. 1а и 1б). Минимальные значения отмечены в лесном массиве около СНТ, максимальные – в Погорельском бору. Несмотря на значительную вариабельность средней ширины ксилемных годовых колец у деревьев в каждом насаждении, можно проследить тенденцию к снижению этих показателей у деревьев при техногенной нагрузке по сравнению с фоновыми условиями в Погорельском и Юксеевском борах. Особенно сильно снижена средняя ширина годовых приростов ксилемы у сосен возле СНТ, различия с другими местами произрастания достоверны с вероятностью не менее 95 %.

Под воздействием техногенных нагрузок может уменьшаться и содержание поздней древесины в годовых слоях (рис. 1в), что может приводить к снижению

прочности древесных стволов, с одной стороны, и свидетельствовать о снижении продуктивности дерева (уменьшении накопления древесинного вещества за период роста), с другой.

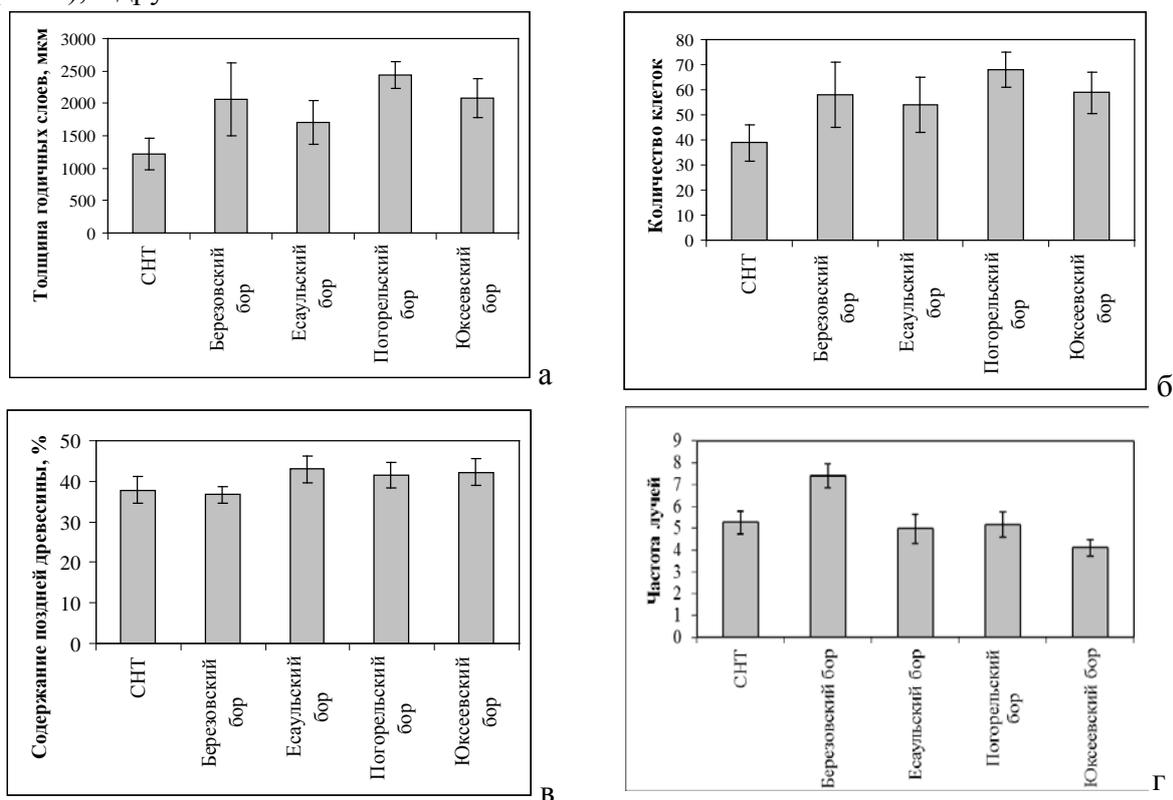


Рис. 1. Средние показатели годичных приростов древесины сосны из разных мест произрастания

Содержание в древесине паренхимных тканей (количество ксилемных лучей на 1 мм поперечного среза годичного прироста) практически не различается у деревьев из разных насаждений, за исключением Юкеевского бора, где оно достоверно ниже, чем в других древостоях, и Березовского, где оно выше (рис. 1г).

Ранее нами было показано, что ширина годичных приростов древесины уменьшается под влиянием техногенной нагрузки и увеличивается при ее ослаблении [4]. Исследования, проведенные в 2004–2007 гг. в Есаульском и Березовском борах, выявили связь характеристик годичных слоев древесины с ИЗА₅ и уровнем рекреационной нагрузки на фитоценозы. Сравнение этих данных с полученными в 2016 году показало, что во всех исследованных борах ширина годичных слоев значительно увеличилась, что можно связать с глобальным изменением климата. Постепенное увеличение ширины колец (особенно выраженное в фоновых условиях) было отмечено с 1999 по 2006 гг. и связывалось с естественным ходом климатических процессов [4]. За прошедшие 10 лет (2006–2016 гг.) средняя ширина колец увеличилась в Юкеевском бору с 47 до 58,8 клетки, Есаульском – с 30 до 54, Березовском – с 29 до 57,9 клетки. Таким образом, размеры годичных приростов древесины в насаждениях, подвергающихся техногенному воздействию, опережают фоновые, где изменения ширины древесных колец обусловлены только изменением климата.

Среднее содержание поздней древесины в годичных приростах за последние 4 года в стволах сосен из исследованных древостоев колеблется от 36 до 42 %. Наибольшие значения отмечены для Юкеевского, Погорельского и Березовского боров, наименьшие – для соснового массива в районе СНТ (рис. 1в). При сравнении этих данных с предыдущими [4] выявлено незначительное снижение содержания

поздней древесины во всех насаждениях. Общая тенденция при этом сохраняется.

Содержание поздней древесины в годичных слоях является одним из факторов, обуславливающих плотность древесины. Уменьшение количества поздних трахеид приводит к снижению плотности и, в конечном счете, прочности древесины [3, 5].

Содержание лучевой паренхимы, оцененное по количеству лучей на 1 мм поперечного среза годичного прироста ксилемы, у сосен всех насаждений невелико (рис. 1г). Можно отметить небольшое снижение этого показателя по сравнению с периодом 2000–2006 гг. в фоновых насаждениях и выравнивание – в остальных [4]. Косвенно это может свидетельствовать о некоторой стабилизации процессов, обеспечивающих формирование ксилемы, в стволах сосен в пригородных лесах. Увеличение количества лучей обыкновенной по мере увеличения степени загрязнения было отмечено при изучении древесины сосны в зоне эмиссий металлургического комбината (Niedzielska, 1986, цит. по [1]).

Общая толщина луба в стволах сосен всех исследованных боров составила 3,1–3,5 мм и достоверно не различалась у сосен разных мест произрастания. Среднее количество годичных слоев в лубе также слабо варьировало (11–12), незначительно уменьшаясь только в Юкеевском бору.

Количество клеток в радиальных рядах каждого из последних четырех годичных приростов флоэмы, как и среднее за 4 года (рис. 2а, 2б), значительно менее изменчиво по сравнению с ксилемой (рис. 1). Не было выявлено достоверных различий между древостоями, испытывающими техногенные нагрузки, и фоновыми по ширине флоэмных годичных колец.

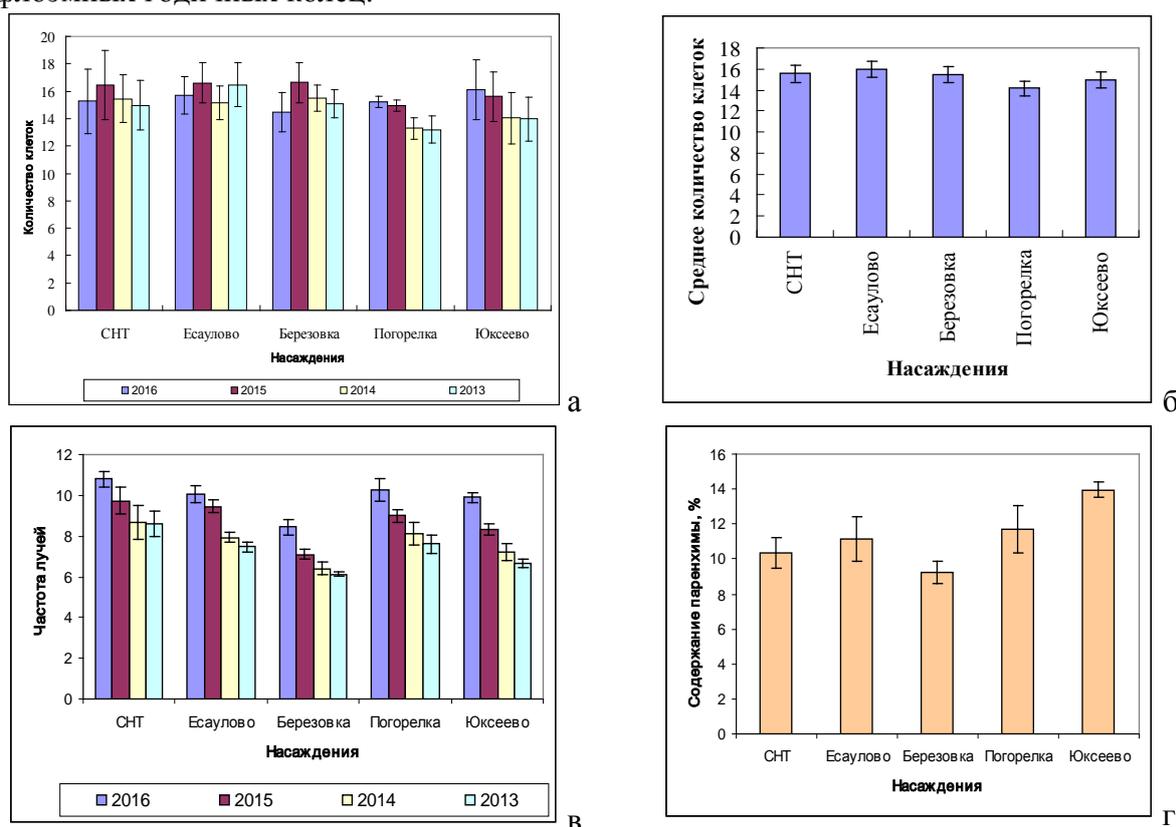


Рис. 2. Количество клеток в годичных слоях луба по отдельным годам (а) и в среднем за последние 4 года (б), количество лучей на 1 мм поперечного среза в годичных слоях луба по отдельным годам (в) и процентное содержание паренхимы в трех последних годичных слоях флоэмы (г) в стволах сосны обыкновенной разных мест произрастания

Частота расположения флоэмных лучей (рис. 2в) закономерно уменьшается при

отдалении от камбиальной зоны. Это связано с отмиранием краевых клеток лучей при переходе проводящей флоэмы в непроводящую [2]. В проводящей флоэме (слой 2016 года) на 1 мм поперечного среза приходится 10–11 лучей в большинстве боров, и только в Березовском показатель достоверно снижен. Ранее нами не отмечалось существенных различий между борами по этому показателю [4]. Вопрос о влиянии природных и антропогенных факторов на расположение и объем лучей во флоэме редко привлекает внимание исследователей, полученные ими данные фрагментарны и противоречивы.

В исследованных борах в лубе стволов сосны содержание осевой паренхимы составляло от 9 до 14 % в трех последних годовичных приростах, прилежащих к камбию (рис. 2г). Наименьшее значение отмечено для Березовского бора, наибольшее – для Юкеевского. В целом в древостоях, находящимся под техногенным воздействием, содержание тяжелой флоэмной паренхимы меньше, чем в фоновых, что соответствует ранее полученным данным [4]. Принимая во внимание функции этих клеток, можно предположить, что воздействие токсических веществ снижает запасающие и защитные свойства тканей стволов.

Таким образом, в стволах сосны обыкновенной под воздействием техногенных нагрузок наблюдается снижение годовичных приростов древесины (как в миллиметрах, так и по количеству клеток), снижение содержания в них поздней древесины, увеличение частоты ксилемных лучей; увеличение годовичных приростов флоэмы, уменьшение содержания запасающей паренхимы в прикамбиальных слоях луба. При сравнении текущих показателей с данными, полученными в 2007 году, можно предположить улучшение условий произрастания в техногенно нарушенных древостоях.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Арсеньева Т. В., Чавчавадзе Е. С.* Эколого-анатомические аспекты изменчивости древесины сосновых из промышленных районов Европейского Севера. СПб.: Наука, 2001. 109 с.
2. *Лотова Л.И.* Анатомия коры хвойных. М.: Наука. 1987. 152 с.
3. *Щекалев Р.В., Тарханов С.Н.* Радиальный прирост и качество древесины в условиях атмосферного загрязнения. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2006. 127 с.
4. *Экологическое состояние пригородных лесов Красноярска.* Колл. авторов. Новосибирск: Академ. изд-во «Гео», 2009. 179 с.
5. *Яценко-Хмелевский А.А.* Основы и методы анатомического исследования древесины. Л.- М.: Изд-во АН СССР, 1954. 337 с.

MONITORING OF GROWTH OF PINE STANDS UNDER ANTHROPOGENIC IMPACT IN KRASNOYARSK FOREST-STEPPE

V.V. STASOVA, L.N. SKRIPALSHCHIKOVA, A.P. BARCHENKOV

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (lara@ksc.krasn.ru)

The aim of the study was to establish growth dynamics of anthropogenically disturbed pine stands in varying environmental conditions. The study was carried out in pine stands of grass type near Krasnoyarsk in prevailing wind direction and 100 km away (background). The technogenic loadings induced the decrease of annual xylem increments (both in mm and cell number), late wood percentage and increase of xylem ray frequency. In inner bark we observed some increase of phloem annual increment width and diminishing of axial (storage) parenchyma content in tree phloem annual rings adjacent to cambium. The comparison of these characteristics with previous (2007 year) ones allowed to suppose the improvement of disturbed stands growth conditions due to reduction of technogenic press.

ПОЛУЧЕНИЕ ДРЕВЕСНЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ПЛИТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КЛЕЕВ БИОЛОГИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

В.В. СТРИКУН, М.А. БАЯНДИН, В.Н. ЕРМОЛИН

СибГУ науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, Красноярск, Россия
(valentinastrikun@gmail.com)

В настоящее время при производстве плитных материалов на основе древесины и, в частности, теплоизоляционных материалов широко используются синтетические полимеры, обладающие высокими клеящими свойствами, но имеющие весомые недостатки, главным из которых является высокое содержание токсичных веществ, опасных для здоровья человека, как в процессе производства, так и в период эксплуатации готовых изделий. Анализ литературных источников показал, что одним из путей получения нетоксичных древесных материалов является использование клеев биологического происхождения (биоклеев), которые могут обеспечивать необходимые механические свойства плитных материалов.

Клеи биологического происхождения в большинстве случаев представляют собой водорастворимые соединения, получаемые на основе материалов животного и растительного происхождения, которые переходят в неплавкое и нерастворимое состояние под действием тепла, в результате удаления растворителя или влаги. В настоящий момент активно изучаются вопросы по использованию клеев на основе углеводов (модифицированный крахмал, декстрины) в технологиях получения древесных плит [3]. Возможным вариантом аналогичных адгезивов являются культуральные жидкости, получаемые культивированием сред на основе мелассы и содержащие в своем составе высокомолекулярные вещества (декстран и биомассу). Их клеящая способность обусловлена тем, что декстран представляет собой полимер с высокой степенью разветвленности молекул, размеры которых имеют значения более 15 килодальтон. Положение, в каком находятся связи ветвлений, количество и длина боковых цепей, оказывает большое влияние на физико-химические свойства полимера. Благодаря им он обладает высокой клеящей способностью, нетоксичен, биоразлагаем и тем самым полностью безопасен как для человека, так и для окружающей среды.

Проведенные нами ранее исследования по изучению вопросов получения древесностружечных плит указывают на потенциальную возможность использования данного адгезива для их производства [2]. Это послужило нам посылком для исследований возможности применения данного адгезива в получении теплоизоляционных плит на основе древесных волокон.

Для проведения исследований использовался водный раствор биоклея, который представляет собой культуральную жидкость, полученную путем культивирования бактерии *Leuconostoc mesenteroides*. На первоначальном этапе исследований ввиду отсутствия в литературе данных об адгезионном взаимодействии данной клеевой основы с древесиной были изучены физико-химические характеристики данного взаимодействия.

Решающую роль в процессе образования клеевого контакта играют протекающие последовательно две стадии: стадия формирования площади клеевого взаимодействия и стадия взаимодействия контактирующих поверхностей. Параметром, оценивающим качество склеивания, является прочность клеевого соединения при сдвиге по клеевому шву. Для проведения испытаний были приготовлены клеевые основы с разным содержанием сухого остатка – 30 %, 40 %, 50 %, 60 %, полученные путем приготовления водных растворов неконцентрированного порошка. Эти клеевые основы

были испытаны для изучения влияния сухого остатка на данный показатель. Испытания проводились на универсальной разрывной машине с УСН-30 с точностью измерения 0,01 % согласно методике, указанной в ГОСТ 15613.1-84 «Древесина клееная массивная. Методы определения предела прочности клевого соединения при скалывании вдоль волокон».

Результаты исследований представлены на рис. 1.

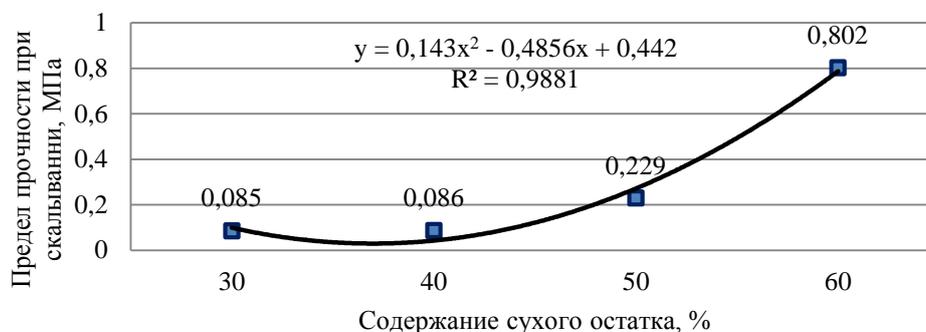


Рис. 1. Влияние сухого остатка биоклея на предел прочности при скалывании

Полученные результаты свидетельствуют о том, что повышение сухого остатка в 2 раза приводит к увеличению прочности клеевых соединений более чем в 9 раз и во многом определяется большим содержанием полимера в растворе и более высокой адгезией. Следует отметить, что высокое содержание сухих веществ увеличивает не только клеящую способность, но и одновременно вязкость клея, что затрудняет процесс осмоления древесных волокон и приводит к повышенному расходу связующего при формировании теплоизоляционных плит. Большая вязкость также напрямую влияет на процесс смачивания поверхности адгезивом, что является главным показателем формирования площади контакта на первичной стадии образования клевого соединения. Данный процесс является подготовительным и сопровождается поверхностной диффузией и миграцией молекул адгезива по поверхности древесных частиц. Смачивание – физико-химическое явление, происходящее при контакте твердых тел с жидкостью, сопровождающееся поверхностной диффузией и миграцией молекул адгезива по поверхности древесных частиц. Эффективность процесса смачивания определяется равновесным краевым углом смачивания поверхности, также характеризующим поверхностное натяжение жидкости, которое косвенно влияет на качество клевого соединения. Для определения величины данного показателя использовался реконструированный микроскоп МИС-11, результаты представлены в табл. 1. Испытания проводились на строганой поверхности массивной древесины породы сосна.

Таблица 1. Результаты исследования биоклея по показателю краевого угла смачивания

| Вид подложки | Содержание сухого остатка, % | Радиус капли, мкм | Высота капли, мкм | Величина $\cos x$ | Угол смачивания, ° |
|---------------------------------|------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| Древесина хвойных пород (сосна) | 30 | 158 | 75 | 0,63222 | 50,7858 |
| | 40 | 175 | 91 | 0,59244 | 52,3456 |
| | 50 | 211 | 114 | 0,56127 | 55,0895 |
| | 60 | 241 | 131 | 0,54385 | 57,0542 |

С учетом шероховатости поверхности древесных волокон краевой угол на

реальной твердой поверхности частиц по сравнению с изученной будет увеличиваться, что приведет к худшему смачиванию поверхности и впоследствии может повлиять на прочностные характеристики готового материала.

Следует отметить, что древесина является капиллярно-пористым материалом и при склеивании поглощает часть содержащейся в клее влаги. Количество поглощаемой древесиной влаги зависит от начальной концентрации клея – величины сухого остатка, оказывающего заметное влияние на качество клеевого соединения, как показал ранее проведенный эксперимент. Так, при низкой начальной концентрации сухого остатка количество поглощаемой древесиной воды будет значительным, что приведет к повышению концентрации сухих веществ на поверхности древесных частиц и позволит получить прочное клеевое соединение.

Полученные результаты указывают на пригодность исследуемого адгезива для изготовления теплоизоляционных плитных материалов и осмоления древесных частиц пневматическим способом. Для дальнейших исследований по получению материала по результатам ранее проведенных экспериментов выбрана клеевая композиция с содержанием сухого остатка, равным 30 %.

При расчете количества древесного наполнителя и расхода связующего учитывался главный критерий эффективности теплоизоляционного материала – теплопроводность, которая напрямую зависит от плотности. Минимальный уровень теплопроводности достигается при плотности, находящейся в пределах от 70 до 120 кг/м³ [1].

Изготовление материала включало в себя ряд операций: размол сырья с последующим высушиванием древесного волокна до влажности 2–4 %, смешение наполнителя со связующим, формование ковра и сушка плит конвективным способом при температуре 150 °С. Процесс осмоления частиц древесного волокна производился в смесителе пневматического типа. В качестве критериев, оценивающих свойства плит, приняты: коэффициент теплопроводности (по прибору ИТС-1) и прочность при 10 % линейной деформации согласно ГОСТ 17177-94 «Материалы и изделия строительные теплоизоляционные: методы испытаний». Данные исследований представлены в табл. 2.

Таблица 2. Свойства теплоизоляционных древесноволокнистых плит

| Наименование показателя | Плотность готовых плит, кг/м ³ | | |
|---|---|-------|-------|
| | 70 | 100 | 125 |
| Коэффициент теплопроводности, Вт/м·К | 0,039 | 0,040 | 0,042 |
| Прочность при 10 % линейной деформации, МПа | 0,030 | 0,035 | 0,040 |

Результаты исследований показывают, что изготовленный материал относится к высокоэффективным теплоизоляционным материалам и может быть применен для теплоизоляции как горизонтальных, так и вертикальных поверхностей.

В результате проведенных исследований установлено, что клеи биологического происхождения на основе культуральной жидкости имеют схожие по значениям характеристики, оценивающие клеевые основы, с широко распространенными синтетическими адгезивами и могут быть использованы в качестве связующего для производства теплоизоляционных древесноволокнистых материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баяндин М.А. Древесностружечные плиты на связующем модифицированном декстраном // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. № 2–1 (13–1). С. 355–359.
2. Горлов Ю.П. Технология теплоизоляционных материалов: учеб. пособие для вузов / Ю.П.

- Горлов, А.П. Меркин, А.А. Устенко. М.: Стройиздат, 1980. 399 с.
3. Пашкин С.В. Инновационные технологии получения экологически чистых клееных материалов на основе водорастворимого биоклея из низкосортной древесины / С.В. Пашкин, М.А. Иванова, В.М. Щеколов // Лесной вестник. 2012. № 8. С. 59–63.

PRODUCTION OF WOODEN INSULATION THERMAL INSULATION PLATES WITH USE OF ADHESIVES OF BIOLOGICAL ORIGIN

V.V. STRIKUN, M.A. BAYANDIN, V.N. ERMOLIN

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russia
(valentinastrikun@gmail.com)

In this paper, the possibility of obtaining heat-insulating boards based on wood fiber with the use of adhesives of biological origin as binders is considered. Physicochemical parameters of the use of biocides, which is a culture liquid obtained by cultivation of the bacterium *Leuconostoc mesenteroides*, are studied. The first samples of heat-insulating material on its basis were obtained in laboratory conditions.

ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ НОВОГО ПРОЦЕССА ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ В ПРОДУКТЫ МАЛОТОННАЖНОЙ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

В.Е. ТАРАБАНЬКО, К.Л. КАЙГОРОДОВ

Институт химии и химической технологии СО РАН, Красноярск, Россия (veta@icct.ru)

Традиционные промышленные технологии химической переработки основных компонентов древесины дают ограниченный ассортимент первичных продуктов – целлюлозу, другие углеводы и получаемые из них продукты. Проблема переработки лигнина в ценные химические продукты привлекает внимание исследователей более 100 лет и в настоящее время обсуждается весьма активно.

Среди перспективных направлений утилизации лигнинов следует отметить их переработку в ароматические альдегиды, ванилин (4-гидрокси-3-метоксибензальдегид) и сиреневый альдегид (4-гидрокси-3,5-диметоксибензальдегид) [1]. Они являются ценным сырьем для фармацевтической, пищевой и парфюмерной промышленности.

Получение ванилина окислением лигносульфонатов, отходов производства сульфитной целлюлозы, доминировало на мировом рынке в 50-х – 70-х годах прошлого века и сохранилось в Скандинавии до сих пор. В настоящее время мировое производство ванилина глиоксальным методом доминирует и составляет около 15 тыс. тонн в год при ценах \$6–15 за килограмм. Развитие более эффективных методов получения ванилина из лигнинов может привести к снижению цен и появлению новых более масштабных областей его потребления, таких как производство новых полимеров.

Цель настоящего сообщения заключается в анализе современных данных по каталитическому окислению лигнинов кислородом в ванилин и сиреневый альдегид – от механизма и закономерностей процессов до перспектив их технологической реализации.

Окисление лигнинов нитробензолом, или нитробензольное окисление (НБО), известно с 30-х годов XX века и считается эталоном максимально возможной

селективности образования альдегидов. Процесс протекает в щелочной среде при 160–180 °С в течение 2–4 часов.

Наибольшие выходы ароматических альдегидов дает окисление нитробензолом нативных (содержащихся в древесине) лигнинов лиственных пород древесины – вплоть до 40–50 мас. %. Выходы ванилина из лигнинов хвойных пород не превышают 25–30 мас. %. Окисление выделенных технических лигнинов позволяет получить 5–15 мас. % ароматических альдегидов.

Каталитическое окисление лигнинов кислородом протекает в области температур около 160 °С и рабочем давлении 5–8 атмосфер. В первой половине и середине XX века было установлено, что процессы окисления лигносульфонатов кислородом

в ванилин катализируются оксидами различных металлов. Среди катализаторов наиболее перспективным считается оксид меди (II). Сравнение выходов целевых продуктов каталитических процессов и нитробензольного окисления показывает, что в большинстве случаев первые лишь незначительно уступают НБО. Среднее значение отношения выходов альдегидов в каталитическом и нитробензольном окислении составляет $E = 0,87 \pm 0,1$ (среднеарифметическая ошибка). Таким образом, хорошо организованные каталитические процессы окисления различных лигнинов по выходам ванилина и сиреневого альдегида уступают нитробензольному окислению на 10–15 %.

Природа лигнина, естественно, влияет на выходы альдегидов, и в каталитических процессах прослеживаются те же закономерности, что и в процессах НБО.

Применение катализаторов в процессах окисления лигнинов в ванилин перекисью водорода, электрохимическими и фотохимическими методами не дает высоких выходов ванилина. По той же причине перспективы использования ионных жидкостей для получения ароматических альдегидов также не внушают оптимизма.

Далее будут рассмотрены некоторые закономерности каталитических процессов, показывающие, за счет чего возможно достижение высоких результатов рассматриваемых каталитических процессов.

Диффузионные эффекты в процессах окисления лигнинов. Каталитические процессы окисления лигнинов кислородом даже в твердой древесине протекают значительно быстрее нитробензольного процесса (0,5–1 и 3–4 часа соответственно), и в случае окисления лигносульфонатов – в три-четыре раза. Естественно, возникает вопрос, какова и насколько существенна в процессах окисления лигнинов кислородом роль его диффузии и массопереноса в трех-четырёхфазной системе.

Проведенные исследования показывают, что при 160 °С процесс протекает в смешанном диффузионно-кинетическом режиме даже при очень высоких интенсивностях массообмена. В этой ситуации несомненно влияние скорости массопереноса на селективность процессов окисления: она возрастает по мере перехода от диффузионного режима окисления к кинетическому, то есть с увеличением интенсивности массообмена.

Влияние температуры на выход ароматических альдегидов. Основной диапазон температур, в котором проводится окисление кислородом, совпадает с температурой нитробензольного окисления – 160–170 °С. Установлено, что с ростом температуры в интервале 90–200 °С при достаточно высоких интенсивностях массопереноса в системе селективность окисления лигнинов в ванилин монотонно увеличивается. Известные экстремальные температурные зависимости выхода ванилина связаны с ограничениями массопереноса кислорода.

Наблюдаемый рост выхода альдегидов при увеличении температуры может быть обусловлен многими причинами, отметим две из них. С одной стороны, вполне очевидна термодинамическая закономерность: равновесие деполимеризации смещается

вправо при увеличении температуры, и в некоторой степени это может объяснять наблюдаемую закономерность. С другой стороны, можно отметить и такую кинетическую закономерность, следующую из механизмов образования ванилина: димеризация промежуточно образующихся в процессе окисления феноксильных радикалов, дающая побочные продукты, может иметь близкую к нулю энергию активации, а окисление тех же радикалов в целевые продукты, альдегиды, – значительно более высокий активационный барьер. В результате увеличение температуры процесса приводит к росту вклада окисления феноксильных радикалов в целевые продукты и подавлению побочного маршрута димеризации.

Кинетические закономерности окисления лигнинов изучены весьма подробно, здесь мы отметим наиболее принципиальный, по нашему мнению, момент. Уменьшение pH реакционной массы в процессе окисления от 11 до 10 приводит к практически полному подавлению процесса образования ванилина, но незначительно влияет на скорость поглощения кислорода при 160 °С: последняя падает до нуля при достоверно более низком pH 9–9,5. Эта закономерность чрезвычайно важна для построения механизма процесса образования ванилина, так как она показывает, что для образования ванилина необходима более щелочная среда, чем это требуется для диссоциации фенольного гидроксила структуры лигнина.

Перспективы комплексной переработки древесины в продукты малотоннажной химии. Промышленное производство ванилина окислением лигниносulfонатов доминировало в 50-х – 70-х годах прошлого века. За исключением использования фирмой Vorregaard, эта технология в настоящее время вытеснена глиоксальным процессом. Прекращение производства обусловлено многими причинами, но в первую очередь следует отметить экологические проблемы: на тонну ванилина образуется более ста кубометров концентрированных сточных вод. Среди других причин следует отметить высокий расход щелочи в процессе окисления, который, например, в технологии Сясьского ЦБК составлял около 14 кг на килограмм товарного ванилина.

Обе эти проблемы обусловлены в первую очередь низкими выходами ванилина из лигносульфонатов, 7–14 мас. %. Значительно более высокие выходы ванилина, до 23–28 масс. %, дает окисление нативных лигнинов хвойных пород. Вполне очевидно, однако, что нативные лигнины древесины можно использовать для получения ванилина и сиреневого альдегида только при условии переработки углеводных компонентов древесины.

Вероятно, первыми публикациями, в которых заявлены возможности получения и ароматических альдегидов, и целлюлозы в процессе окисления лиственной и хвойной древесины, являются патенты [2–3] и статья [4]. Показано, что существуют компромиссные условия получения ванилина, в которых каталитический процесс является, по существу, окислительной делигнификацией древесины, и довольно селективной. Получаемая целлюлоза, вероятно, непригодна в качестве сырья для производства бумаги, но принципиальных ограничений для ее химической переработки в глюкозу, леулиновую кислоту и другие продукты нет. Эти результаты [2–4] открывают возможность реализации нового процесса эффективной каталитической конверсии древесины в комплекс малотоннажных химических продуктов [1].

Эффективная комплексная переработка древесины в рассматриваемые малотоннажные продукты в общем случае должна включать три основных ступени: (1) – предгидролиз и переработка гемицеллюлоз; (2) – окислительная конверсия лигноцеллюлозного остатка в ванилин, сиреневый альдегид и целлюлозу; (3) – переработка целлюлозы в глюкозу, леулиновую кислоту, 5-гидроксиметилфурфурол и другие продукты. В зависимости от природы древесины этим ступеням могут

предшествовать экстракционные процессы предварительного выделения смолистых веществ, полифенолов и др. Такая комплексная переработка древесины предопределяет довольно широкий ассортимент продуктов: ванилин и левулиновая кислота из хвойной древесины плюс сиреневый альдегид и фурфурол при переработке лиственных пород и другие продукты.

Подробный анализ экономичности рассматриваемых процессов переработки древесины выходит за рамки настоящего сообщения. Мировой рынок ванилина составляет около 15 тысяч тонн в год при ценах 6–15 долл./кг. Мировые цены на фурфурол находятся на уровне 1–2 долл./кг, левулиновой кислоты – около трех. Левулиновая кислота в основном используется в полимерной промышленности для производства дифенольной кислоты и порофора. Сиреневый альдегид – потенциально наиболее дорогой продукт среди обсуждаемых, и на существующий рынок он может войти как предшественник 3,4,5-триметоксибензальдегида (ТМБА), цена которого превышает 25 долл./кг. ТМБА, вероятно, синтезируется из ванилина и используется в фармацевтике и других областях малотоннажной химии.

Рыночная стоимость продуктов, получаемых из 1 тонны березовой древесины по предлагаемым схемам комплексной переработки, может составить 1400–3000 долларов США. Для сравнения, стоимость целлюлозы, получаемой из тонны древесины, составляет 250–300 долларов. При наличии достаточного спроса на сиреневый альдегид и левулиновую кислоту переработка березовой древесины по экономической эффективности, вероятно, будет превосходить аналогичные процессы переработки хвойных пород. В конечном счете рассмотренные результаты и возможности могут послужить основой для вытеснения современной глиоксалевого технологии производства ванилина, базирующейся на ископаемом сырье, технологией переработки возобновляемого растительного сырья.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ, правительства Красноярского края и Краевого фонда науки в рамках научного проекта № 16-43-242102.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Tarabanko V.E., Tarabanko N.* Catalytic oxidation of lignins into the aromatic aldehydes: general process trends and development prospects // *Int. J. of Molecular Sciences*. 2017. 18: 2421.
2. *Тарабанько В.Е., Первышина Е.П., Кузнецов Б.Н.* Способ переработки древесины в продукты тонкого органического синтеза // Пат. РФ № 2119427, 1998.
3. *Тарабанько В.Е., Козлов И.А., Первышина Е.П., Черняк М.Ю., Кузнецов Б.Н.* Способ химической переработки древесины // Пат. РФ № 2158192, 2000.
4. *Tarabanko V.E., Kaygorodov K.L., Skiba E.A., Tarabanko N., Chelbina Y.V., Baybakova O.V., Kuznetsov B.N., Djakovitch L.* Processing Pine Wood into Vanillin and Glucose by Sequential Catalytic Oxidation and Enzymatic Hydrolysis // *Journal of Wood Chemistry and Technology*. 2017. 37(1): 43–51.

POSSIBILITY AND PROSPECTS TO CREATE NEW TECHNOLOGY OF WOOD PROCESSING INTO FINE CHEMICALS

V.E. TARABANKO, K.L. KAIGORODOV

Institute of Chemistry and Chemical Technology SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (veta@icct.ru)

The communication discusses principal patterns that govern the processes of lignin (one of the main wood component) catalytic oxidation into vanillin (3-methoxy-4-hydroxybenzaldehyde) and syringaldehyde (3,5-dimethoxy-4-hydroxybenzaldehyde). It examines the influence of lignin and oxidant nature, temperature, mass transfer, and of other factors on the yield of the aldehydes and the

process selectivity. The review reveals that properly organized processes of catalytic oxidation of various lignins are only insignificantly (10–15 %) inferior to oxidation by nitrobenzene in terms of yield and selectivity in vanillin and syringaldehyde. Very high consumption of oxygen (and consequentially, of alkali) in the process – over 10 mol per mol of obtained vanillin – is highlighted as an unresolved and unexplored problem: scientific literature reveals almost no studies devoted to the possibilities of decreasing the consumption of oxygen and alkali. Different hypotheses about the mechanism of lignin oxidation into the aromatic aldehydes are discussed, and the mechanism comprising the steps of single-electron oxidation of phenolate anions, and ending with retroaldol cleavage of a substituted coniferyl aldehyde was pointed out as the most convincing one.

The possibility and development prospects of single-stage oxidative processing of wood into the aromatic aldehydes and cellulose are analyzed. The examined data demonstrate economic viability of comprehensive wood processing into vanillin, syringaldehyde, 3,4,5-trimethoxybenzaldehyde, and products of subsequent conversion of hemicelluloses and cellulose (e.g., levulinic acid and furfural). A discussion is offered about the prospects of superseding the current industrial synthesis of vanillin (based on fossil-derived guaiacol and glyoxylic acid) by a technology based on renewable plant resources conversion.

ВЛИЯНИЕ ЦИКЛИЧЕСКИХ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА СВОЙСТВА КОМПОЗИТОВ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

А.А. ТИТУНИН, И.В. СУСОЕВА, Т.Н. ВАХНИНА

Костромской государственный университет, Кострома, Россия (a_titunin@ksu.edu.ru)

Одним из актуальных направлений развития деревообрабатывающих предприятий является повышение эффективности использования всей биомассы растущего дерева. По имеющимся данным, в европейской части России используется лишь половина этого ресурса, а в Сибири – одна треть. Остальная часть в процессе производства продукции превращается в отходы, которые чаще всего используются на топливно-энергетические нужды, а нередко вывозятся в отвалы, сжигаются или сбрасываются в водоемы [6]. Наряду с загрязнением водной, воздушной и наземной среды недоиспользование древесных ресурсов ведет к серьезным экономическим потерям, поскольку выбрасываемые отходы представляют собой ценное вторичное сырье, которое можно эффективно применять в производстве различных видов строительных материалов, в том числе композитов теплоизоляционного назначения [7]. Для создания таких композиционных материалов предложено использовать не только древесные отходы, но и отходы переработки льна и хлопка [5], проблема утилизации которых остается весьма актуальной для многих отечественных предприятий, в том числе расположенных в Костромской области. Анализ имеющихся в данной области исследований показал, что остается недостаточно изученным вопрос изменчивости физико-механических свойств композиционных материалов под влиянием циклических температурно-влажностных воздействий [3].

Авторами были проведены исследования на стойкость к температурно-влажностным воздействиям композиционных материалов на основе наполнителей из мягких отходов деревообработки и безвозвратных отходов производства хлопковых и льняных волокон.

Параметры цикла температурно-влажностных воздействий принимались согласно ГОСТ 33121-2014 [2]: пребывание образцов в воде при 20 °С в течение 20 ч, замораживание мокрых образцов при -20 °С в течение 6 ч, оттаивание при 20 °С в течение 16 ч и прогрев при температуре 60 °С в течение 6 ч.

В качестве примера на рис. 1 представлены графические зависимости остаточной прочности образцов композитов при статическом изгибе [8].

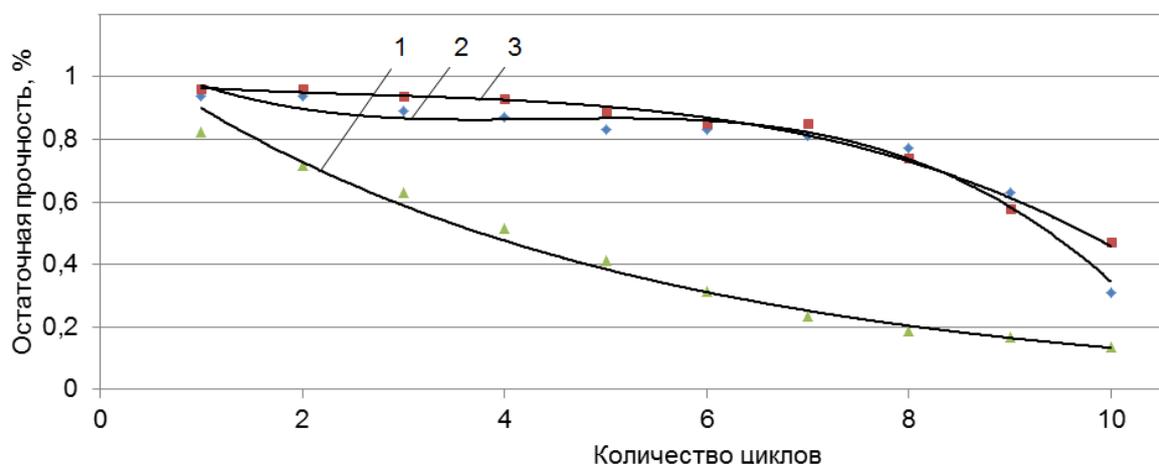


Рис. 1. Зависимости остаточной прочности при статическом изгибе, % композитов: 1 – из древесных отходов; 2 – из хлопка; 3 – из льна

В табл. 1 представлены результаты определения физико-механических показателей композитов на основе фенолформальдегидной смолы.

Таблица 1. Динамика изменения показателей волокнистых плит на ФФС в циклических испытаниях (над чертой для плит из хлопка, под чертой для плит из льна)

| Циклы | Потеря массы, Δm , % | Предел прочности при статическом изгибе, σ_i , МПа | Разбухание по толщине, P_s , % | Остаточная масса, % | Остаточная прочность, % |
|-------------|------------------------------|---|----------------------------------|---------------------|-------------------------|
| Контрольные | -/- | 0,49/0,55 | 3,36/8,2 | - | - |
| 1 | 7,42/8,61 | 0,46/0,53 | 1,82/4,32 | 92,58/91,39 | 0,94/0,96 |
| 2 | 22,11/26,21 | 0,46/0,53 | 1,96/4,88 | 77,89/73,79 | 0,94/0,96 |
| 3 | 36,82/41,63 | 0,44/0,52 | 2,07/5,27 | 63,18/58,37 | 0,89/0,94 |
| 4 | 38,64/44,52 | 0,43/0,51 | 2,23/5,58 | 61,36/55,48 | 0,87/0,93 |
| 5 | 51,01/59,45 | 0,41/0,49 | 2,31/5,93 | 48,99/40,55 | 0,83/0,89 |
| 6 | 58,48/66,04 | 0,41/0,47 | 2,38/6,84 | 41,52/33,96 | 0,83/0,85 |
| 7 | 64,37/72,44 | 0,40/0,47 | 2,91/7,32 | 35,63/27,56 | 0,81/0,85 |
| 8 | 64,75/73,08 | 0,38/0,41 | 3,22/8,30 | 35,25/26,92 | 0,77/0,74 |
| 9 | 65,42/73,47 | 0,31/0,32 | 3,48/8,76 | 34,58/26,53 | 0,63/0,58 |
| 10 | 65,61/74,59 | 0,15/0,26 | 3,62/9,29 | 34,39/25,41 | 0,31/0,47 |

Экспериментальные исследования выявили наличие существенных различий физико-механических показателей полученных образцов композитов, которые обусловлены в первую очередь структурой и параметрами наполнителей. По соотношению геометрических размеров волокна льна и хлопка оказываются весьма сходными [4]. Об этом можно судить по фотографиям растительных отходов, полученным в ходе исследований с использованием микроскопа МС 20.1 (рис. 2, 3). Тем не менее, льняное волокно гораздо прочнее хлопкового, что объясняется большей толщиной стенки льняного волокна, а также разным химическим составом и микроструктурой этих биополимеров. Для растительных отходов, как древесных, так и отходов однолетников (льна, хлопка и др.), характерно значительное повреждение клеток, что обуславливает их водопоглощение [1].

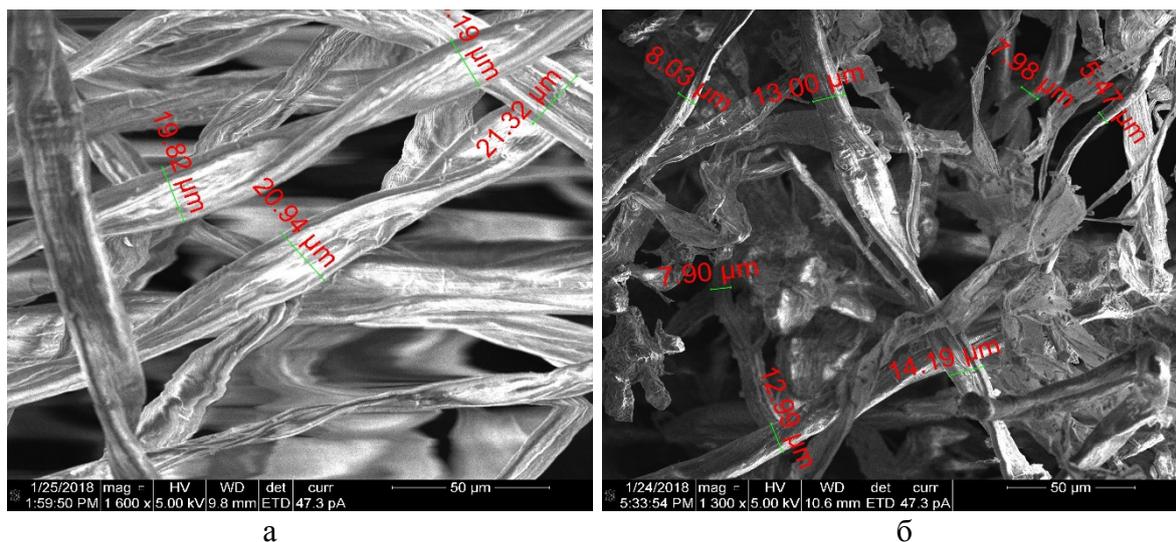


Рис. 2. Изменение структуры и размеров наполнителя при переработке:
а – волокна хлопка; б – волокна отходов переработки хлопка

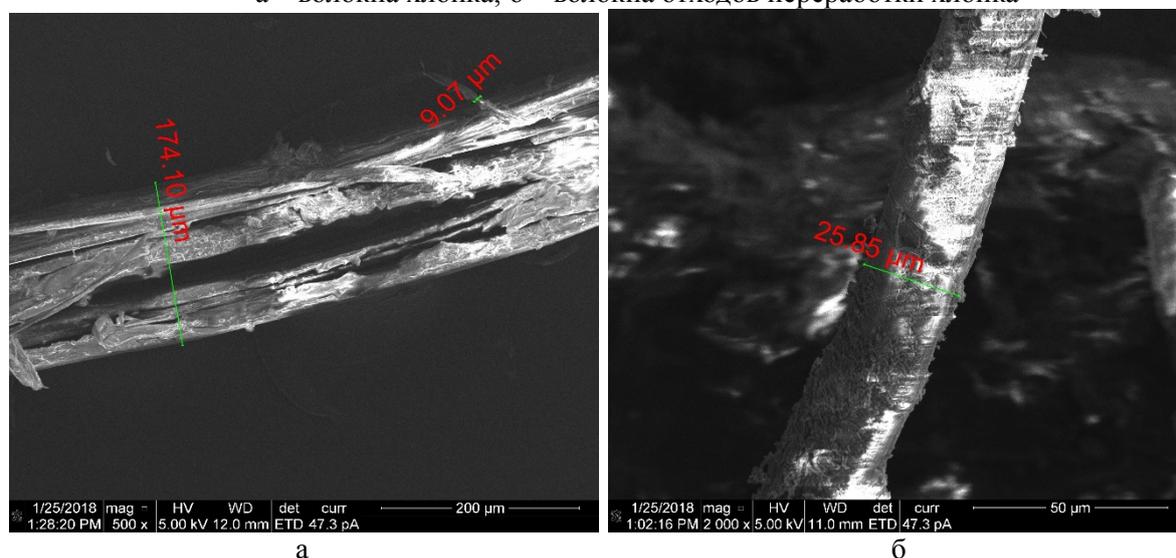


Рис. 3. Микроструктура льняных отходов: а – поврежденное волокно; б – волокно с осажженным наполнителем

Применительно к производству композиционных материалов это ведет к ухудшению физико-механических показателей. Причиной является повышенная впитываемость связующего в поврежденные растительные волокна и вследствие этого уменьшение числа клеевых контактов между частицами наполнителя. В комплексе с большой удельной поверхностью пылевидных растительных частиц это приводит к невозможности полного осмоления поверхности растительного наполнителя (рис. 3б) и созданию прочной структуры.

Как видно из фотографий на рис. 4, полученных с помощью микроскопа МБС-10, после нахождения образцов в воде в течение 24 ч композит с добавкой отходов переработки хлопка впитывает больше влаги, чем аналогичный материал из отходов переработки льна. Поэтому при температурно-влажностных воздействиях в нем возникают более значимые изменения физико-механических свойств – это подтверждают экспериментальные исследования показателей композитов после циклических воздействий.

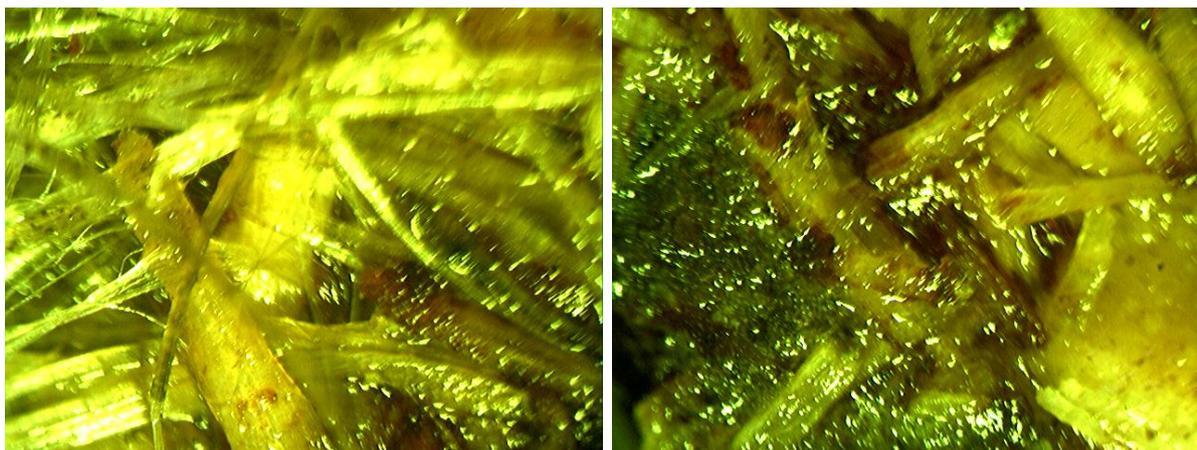


Рис. 4. Теплоизоляционный композит с добавкой отходов льна (а) и хлопка (б) после 24 ч пребывания в воде

В целом результаты экспериментальных исследований показали, что композиты из отходов хлопка имеют более низкую, чем композиты из отходов льна, прочность при статическом изгибе и большую потерю прочности после циклов испытаний. Полученные экспериментальные данные позволяют рекомендовать такие композиционные материалы к использованию в качестве теплоизоляционного элемента строительных конструкций.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Вахнина Т.Н.* Исследование водопоглощения станочной и специальной стружки для производства ДСтП // Строение, свойства и качество древесины – 2004: труды IV Международного симпозиума. Санкт-Петербург: СПбГЛТА, 2004. С. 196–198.
2. *ГОСТ 33121-2014* Конструкции деревянные клееные. Методы определения стойкости клеевых соединений к температурно-влажностным воздействиям. Москва: Стандартинформ, 2015. 21 с.
3. *Ибрагимов А.М., Вахнина Т.Н., Сусоева И.В.* Опыт использования пылевидных лигноцеллюлозных отходов текстильных предприятий в качестве наполнителя для строительных композиционных материалов // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2015 году: сб. науч. тр. РААСН. М.: Изд-во АСВ, 2016. С. 483–488.
4. *Кукин Г.Н., Соловьев А.Н.* Текстильное материаловедение. Исходные текстильные материалы. М.: Легкая пром-сть и бытовое обслуживание, 1985. 216 с.
5. *Сусоева И.В., Вахнина Т.Н., Титунин А.А.* Влияние вида связующего на прочность композиционных плитных материалов из лигноцеллюлозных отходов // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2017. № 1 (367). С. 109–111.
6. *Титунин А.А., Зайцева К.В.* Проектирование и производство строительных материалов из древесины. Комплексный подход. Кострома: Изд-во Костромского гос. технолог. ун-та, 2009. 185 с.
7. *Титунин А.А., Каравайков В.М., Вахнина Т.Н.* Эколого-экономические аспекты безотходных технологий переработки лесных ресурсов. М.: Новые технологии, 2007. 48 с.
8. *Susoeva I.V., Vahnina T.N., Titunin A.A., Asatkina J.A.* The performance of composites from vegetable raw materials with changes in temperature and humidity. Magazine of Civil Engineering. 2017. № 3 (71). Pp. 39–50.

INFLUENCE OF CYCLIC TEMPERATURE AND HUMIDITY ON PROPERTIES OF COMPOSITES FROM VEGETABLE RAW MATERIALS

A.A. TITUNIN, I.V. SUSOEVA, T.N. VAHNINA

Kostroma State University, Kostroma, Russia (a_titunin@ksu.edu.ru)

The influence of variable temperature and humidity of the environment on the parameters of composite materials from wood, flax and cotton wastes is considered in the article. The results of investigations of the microstructure of a filler and a composite are presented. The experimental data confirm the existence of long-term resistance of the composites to cyclical influences.

ДЕНДРОАКУСТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДРЕВЕСИНЫ ИНТРОДУЦИРОВАННЫХ КЛЕНОВ КАК МАТЕРИАЛА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МУЗЫКАЛЬНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

В.И. ФЕДЮКОВ, Е.Ю. САЛДАЕВА, С.М. ЛАЗАРЕВА, А.А. ГОГОГИН, Д.Г. АМИРОВ,
Н.Е. КАМАЕВА

Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола, Россия
(FedyukovVI@volgatech.net)

Известно, что в достижении особого звучания музыкального инструмента, конструкция которого включает два уровня расположения дек – верхний и нижний, – неменьшую роль, чем резонансная древесина хвойных пород, преимущественно ели, играет древесина клена. Хорошим подтверждением тому является тот факт, что почерк творения Амати, Гварнери, Страдивари и других староитальянских мастеров в разные годы можно определить по макроструктуре древесины, использованной для изготовления не только верхней деки скрипок, но и нижней – преимущественно из клена.

Актуальность и практическая направленность выполнения этой работы в России продиктована еще одним историческим фактом. В 1910–1912 гг. по Волге проследовала большая экспедиция ученых-лесоводов из Германии и России. Она обнаружила большие площади резонансной ели в Руткинском лесничестве Республики Марий Эл между реками Ветлуга и Рутка, а также *кленовые древостои* на горной стороне. Сначала эти богатства большими партиями вывозились в Германию, затем было решено построить в Козьмодемьянске мастерские по производству скрипок, гуслей и других музыкальных инструментов из местной древесины [7].

Высококачественная древесина клена наряду с резонансной елью сегодня является во всем мире остродефицитным и весьма дорогостоящим лесоматериалом. Несмотря на это, до настоящего времени отсутствуют комплексные исследования физико-механических и акустических свойств древесины этой породы по целевому назначению во взаимосвязи с условиями местопроизрастания, структурой и развитием самих древостоев и т. д.

Важное практическое значение в этом аспекте имеют дендроакустические исследования интродуцированных по географическому происхождению кленов для создания целевых плантаций.

Теоретические предпосылки, объект и метод исследований. Сегодня во многих странах за основной критерий «музыкальности» данного материала принят показатель акустической константы излучения звука, K , предложенный академиком

Н.Н. Андреевым [1]:

$$K = \sqrt{\frac{E}{\rho^3}}, \quad (1)$$

где $E_{дин}$ – динамический модуль упругости, Па; ρ – плотность, кг/м³.

С учетом математических преобразований акустическая константа для образцов цилиндрической формы будет определяться по формуле:

$$K = \sqrt{0,328 \frac{m \cdot l^3 \cdot f^2}{\rho^3 \cdot \left(m_k \cdot l^2 + \frac{m \cdot l^2}{3} \right)} \cdot 10^{-6}}, \quad (2)$$

где f – резонансная (собственная) частота, Гц;

l – рабочая длина образца, м;

ρ – плотность образца, кг/м³;

m_k – масса «башмачка», кг;

m – масса рабочей части образца, кг;

d – средний диаметр образца, м;

m – масса образца без пластинок, кг.

Для резонансной древесины в продольном направлении вдоль волокон пороговым значением является $K \geq 12,0$ м⁴/ кг·с, а при поперечно-радиальных измерениях $K \geq 3,5$ м⁴/ кг·с. Но при этом следует иметь в виду, что такой показатель установлен для хвойных пород (ель, пихта кавказская и кедр), в древесине которых скорость распространения звука вдоль волокон достигает в среднем до 5500,0–6000,0 м/с [10].

Древесина лиственных пород с более сложным анатомическим строением имеет иные показатели, и применительно к ним пока не обоснованы дендроакустические критерии материала для изготовления музыкальных инструментов.

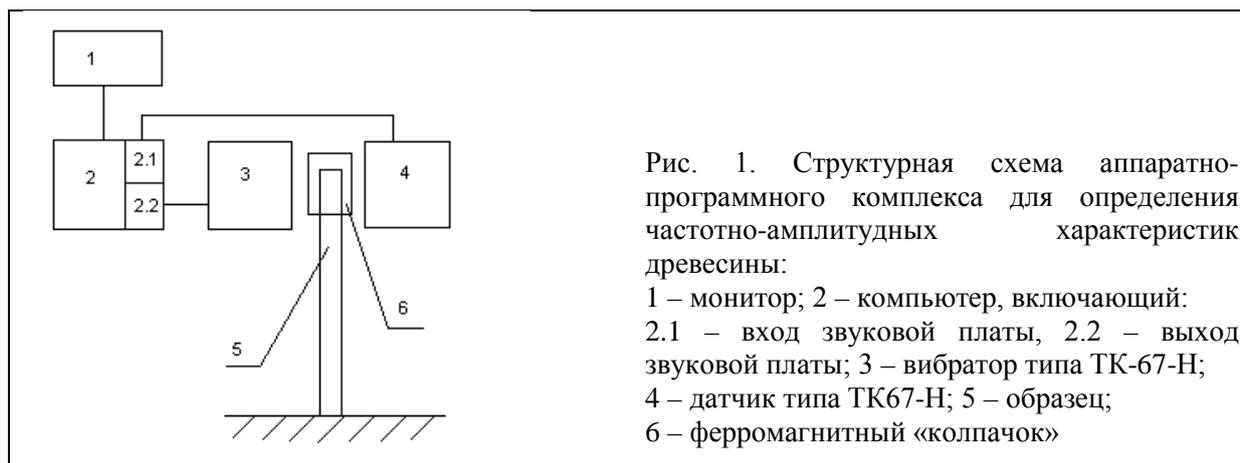
Объектом исследований послужили интродуцированные по географическому происхождению клены на территории Ботанического сада ПГТУ, которые характеризуются следующими дендрометрическими показателями (табл. 1); для сравнения был отобран клен местного происхождения (*Acer platanoides* L.):

Тип условий местопроизрастания С₂; почва дерново-слабоподзолистая, суглинистая, свежая. Посадка производилась без предварительной подготовки почвы. Сеянцы были доставлены из Государственного ботанического сада АН СССР (Москва), где ранее создавались специальные плантации кленов, интродуцированных по географическому происхождению. Размещение саженцев групповое по каждому интродуценту на достаточном для роста и развития расстоянии друг от друга.

Метод исследований основан на определении динамического модуля упругости ($E_{дин}$) древесины черенков диаметром 3,0...7,0 мм и длиной 50,0...100,0 мм, взятых от боковых веток деревьев, причем строго с северной стороны. Данный метод апробирован зарубежными учеными: доказано, что имеется взаимосвязь между модулями упругости древесины ветвей и ствола [12, 13, 14, 15]. Иными словами, модуль упругости древесины ветвей является объективным показателем для использования в качестве критерия в неразрушающем методе оценки технических свойств древесины стволовой части дерева.

Дендроакустические измерения опытных черенков проводились вибрационным (частотно-амплитудным) способом [9].

Исследования проводились с помощью аппаратно-программного комплекса, принципиальная схема которого представлена на рис. 1.



Ранее данный способ применялся в неразрушающей диагностике резонансных свойств древесины ели на корню, он защищен патентами РФ на изобретение [3, 4] и прошел широкую апробацию в других работах [6, 8, 9]. Поэтому, не вдаваясь в детальное изложение, отметим лишь суть дендроакустических измерений.

Гармонический сигнал поступает от полнодуплексной звуковой платы 2 системного блока компьютера на электромагнитный датчик (вибратор) 3, возбуждающий поперечные колебания вертикально установленного образца 5 посредством «колпачка» 4 из мягкого железа с внутренним диаметром, подогнанным по диаметру образца (черенка). После фиксации снятый электромагнитным датчиком сигнал поступает на вход полнодуплексной звуковой платы. На экран мониторинга 1 выводится соответствующая гистограмма и по максимальному пику определяется собственная (резонансная) частота образца.

Для нестандартных образцов, каковыми в данном случае являются черенки, целесообразно определять *базисную* плотность древесины через выявление выталкивающей силы, преобразуя ее в *стандартный* показатель расчетным путем [5].

В дальнейшем по формулам 1 и 2 определяется акустическая константа излучения звука, K , $\text{м}^4/\text{кг}\cdot\text{с}$.

Результаты и обсуждение. В табл. 1 приводится сравнительный анализ результатов, полученных вибрационным методом на образцах древесины клена остролистного и таксонов.

Таблица 1. Дендроакустические показатели древесины кленов

| Название таксона | ρ , кг/м ³ | f_0 , Гц | $E_{\text{дин}}$, Мпа | K , М ⁴ /кг·с |
|---|-------------------------------|---------------|---------------------------|-------------------------------|
| Клен полевой (<i>Acer campestre</i> L.) | 535,05 | 188,75 | 2027,15 | 1,5 |
| Клен ложноплатановый – явор (<i>Acer pseudoplatanus</i> L.) | 553,5 | 562 | 21635,6 | 2,5 |
| Клен зеленокорый (<i>Acer tegmentosum</i> Maxim) | 599,8 | 169 | 22067,2 | 0,6 |
| Клен татарский, подвид Гиннала (<i>Acer tataricum subsp Ginnala</i> Maxim) | 513,4 | 149 | 16572,2 | 1,1 |
| Клен сахаристый (<i>Acer saccharinum</i> (L.) | 492,2 | 328 | 28556,6 | 2,3 |
| Клен красный (<i>Acer rubrum</i> L.) № 1 | 615,2 | 228 | 35131,3 | 1,2 |
| Клен ясенелистный (<i>Acer negundo</i> L.) | 493,2 | 228,0 | 37341,1 | 1,8 |
| Клен остролистный (<i>Acer platanoides</i> L.) | 522,54 | 365,7 | 28362,24 | 2,64 |

Заключение. Результаты исследований показали, что имеются различия в плотности и дендроакустических показателях древесины интродуцированных по географическому происхождению и местных остролистных кленов. Например, наибольшей акустической константой, характеризующей резонансные свойства древесины, обладает клен ложноплатановый – явор (*Acer pseudoplatanus* L.), превышая по этому показателю клен остролистный (*Acer platanoides*).

Однако у других видов кленов дендроакустические показатели значительно ниже, чем у резонансной древесины ели. Таким образом, акустическая роль древесины клена в нижних деках скрипки и других смычковых инструментах совершенно иная, чем у верхней деки из резонансного материала. Из этого следует: во-первых, более точным названием сортиментов из клена по этому целевому назначению будет «дечные» или «музыкальные», чем «резонансные»; во-вторых, при отборе древесины для изготовления музыкальных инструментов необходимо пользоваться другими значениями акустической константы.

Возможно, необходимо разработать другие критерии путем проведения дополнительных исследований, направленных, например, на установление частотно-амплитудных характеристик данного материала в заготовках.

Однако более точный ответ можно получить лишь путем проведения сравнительных исследований и дендроакустической идентификации древесины клена в музыкальных инструментах, обладающих разным уровнем акустических характеристик.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев Н.Н. О дереве для музыкальных инструментов // Сборник трудов НИИМЦ. М.-Л., 1938. Вып. 1. С. 11–18.
2. Витачек Е.Ф. Очерки по истории изготовления смычковых инструментов. М.: Музыка, 1964. 341 с.
3. Пат. 2439561 РФ. МПК G 01 N 33/46. Способ ранней диагностики резонансных свойств древесины / Федюков В.И., Салдаева Е.Ю., Васенев А.Л. № 2439561 С2; заявл. 26.03.2009; опубл. 10.01.2012. Бюл. 2012. № 1.
4. Пат. 2523033 РФ. МПК G 01 N 33/46. Устройство для фиксации образца при дендроакустических испытаниях по раннему выявлению резонансных свойств древесины на корню / Федюков В.И., Салдаева Е.Ю., Васенев Е.А. № 2523033 С2; заявл. 21.03.2012; опубл. 20.07.2014. Бюл. № 20.
5. Полубояринов О.И. Плотность древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1976. 159 с.
6. Салдаева Е.Ю. Разработка метода ранней неразрушающей диагностики резонансных свойств древесины ели на корню: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Воронеж, 2015. 16 с.
7. Сануков Н.К. Единственная в России // Марий Эл: вчера, сегодня, завтра. 1994. № 5–6. С. 82–84.
8. Федюков В.И. Ель резонансная: отбор на корню, выращивание, целевое использование: Научное издание. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2016. 256 с.
9. Федюков В.И., Салдаева Е.Ю., Цветкова Е.М. Ранняя диагностика технического качества подростка как важный элемент интенсификации лесопользования в России // ИВУЗ «Лесной журнал». 2012. № 6. С. 16–23.
10. Уголев Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения: учебник для лесотехнических вузов. Изд. 3-е, перераб. и доп. М.: МГУЛ, 2001. 340 с.
11. Fedyukov V., Saldaeva E., Chernova M. Different ways of elastic modulus comparative study to predict resonant properties of standing spruce wood // Wood Research. 2017. № 62 (4). P. 607–614.
12. Lindstrom H., Harris P., Nakada R. Methods for measuring stiffness of young trees // Holz als Roh-und Werkstoff. 60. 2002. P. 165–167.
13. Lindstrom H., Nakada R., Ralston J. Cell wall structure and wood properties determined by acoustics – a selective review // Holz Rohund Werkst. 61. 2003. N 5. P. 321–335.

14. Mamdy C., Rozenberg P., Bastion J.C. Non-destructive assessment modulus of elasticity in genetic field tests in France: 20 IUERO World Congr., Tampere, 7–11 Aug. 1995 // IAWA J. 1995. N 1. P. 16.
15. Nakanura N. Development of measuring Yong's modulus of planting stock // Japan For Soc. 1997. Vol. 79 (1). P. 43–48.

DENDROACOUSTIC PARAMETERS OF INTRODUCED MAPLE WOOD AS MATERIAL FOR MANUFACTURING MUSICAL INSTRUMENTS

V.I. FEDYUKOV, E.Y. SALDAEVA, S.M. LAZAREVA, A.A. GOGOGIN, D.G. AMIROV, N.E. KAMAIEVA

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Russia (Fiv48@mail.ru)

The paper presents the results of dendroacoustic research into Bosnian maple wood and 7 taxons of geographical origin growing in the Botanic garden of the Volga State University of Technology.

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ СПОСОБ ДЛЯ ЭКСПРЕСС-ДИАГНОСТИКИ РЕЗОНАНСНЫХ СВОЙСТВ ВЫДЕРЖАННОЙ В СТАРЫХ СООРУЖЕНИЯХ ДРЕВЕСИНЫ

В.И. ФЕДЮКОВ, В.Ю. ЧЕРНОВ, М.С. ЧЕРНОВА, Н.А. МАГАЛЯС, О.В. ЦОЙ

Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола, Россия (Fiv48@mail.ru)

Одним из актуальных научно-исследовательских направлений в науке о древесине является исследование резонансных свойств древесины, выдержанной в старых сооружениях в течение длительного времени [6, 7]. Данное направление имеет достаточно широкую область применения и высокую практическую значимость, поскольку связано с повторным использованием древесины и сохранением существующих лесных ресурсов.

Анализ технических и методических решений в этой области показал, что на данный момент не разработан способ экспресс-диагностики выдержанной древесины непосредственно в старых сооружениях. Однако существует несколько наиболее подходящих методов и устройств, которые условно можно разбить на три группы:

- ультразвуковые испытания резонансной древесины [3];
- применение метода измерения сопротивления сверлению для определения характеристик древесины;
- определение физико-механических свойств [9], макроскопического строения и колориметрических показателей древесины на кервах [8].

Первая группа методов и устройств основана на измерении ультразвуковых параметров в рабочей зоне резонансной древесины с помощью датчика и приемника ультразвуковых волн специальной конструкции. Недостаток подобных устройств связан с трудностью их применения непосредственно на месте расположения старого сооружения, так как необходимо наличие источника электрического питания на 220 В и увеличение проводников ультразвуковых датчиков для обхода встречающихся крупногабаритных конструктивных элементов исследуемого объекта.

При использовании устройства [4] достаточно сложно с высокой точностью определить макроскопическое строение выдержанной древесины и практически

невозможно выявить ее колориметрические параметры, что важно для исследования резонансной выдержанной древесины.

Применение способа [2], основанного на использовании специализированной установки – электронного микродендрометра, усложняет процесс исследования древесины на месте расположения старого сооружения и поэтому не может относиться к экспресс-диагностике. Также вследствие продолжительности, а именно с момента отбора керна на месте расположения исследуемого объекта до начала исследования, происходит изменение его физико-механических свойств, что снижает точность полученных результатов.

Среди проанализированных способов и устройств для диагностики свойств древесины в качестве прототипа было взято устройство для экспресс-диагностики резонансных свойств древесины на корню [5]. Оно состоит из рабочего органа в виде полого бурава, схожего по конструкции и размерам со стандартным приростным буром для отбора керна из древесины, и электронной системы измерения сопротивления пробуравливанию. Исходя из того, что получение радиальных образцов является важным условием диагностики резонансных свойств древесины, существенный недостаток данного устройства заключается в сложности нахождения и ориентации относительно годичных слоев правильного направления пробуравливания. Это связано с тем, что используемая в изобретении мерная вилка не может быть применена, например, на бревенчатой стене дома, так как вследствие плотного прилегания бревен отсутствует возможность обхвата исследуемого конструктивного элемента.

Целью работы является разработка нового способа для экспресс-диагностики резонансных свойств выдержанной в старых сооружениях древесины и решение вопросов, связанных с правильным нахождением и установлением направления пробуравливания в стеновых бревнах и других элементах старых сооружений для получения радиально-поперечных кернов.

Необходимо отметить, что новый способ экспресс-диагностики резонансных свойств выдержанной в старых сооружениях древесины [1] выполняется на конструктивных элементах сооружений: наружные и внутренние стены, слезы, лаги, стропила, фермы, балки перекрытия, опорные столбы, половые и потолочные доски. Наружные конструктивные элементы отбираются среди них с учетом максимально перпендикулярно расположения к преобладающей розе ветров. Указанный способ осуществляется следующим образом:

1. Первоначально выполняется обследование сооружения и с помощью компаса определяется расположение конструктивных элементов сооружений относительно сторон света и преобладающей розы ветров данного региона. На выбранных элементах устанавливаются соответствующие обозначения.

2. В случае исследования конструктивных элементов выдержанного деревянного сооружения в круглом виде, таких как бревно, стропила и т. п., важно определить в них расположение сердцевины 1, годичных слоев и задать ориентир для строго радиального 2 направления пробуравливания 3. Для этого на двух торцах бревен или брусьев 4 жестко закрепляются планки 5, так чтобы их рабочая поверхность проходила через сердцевину 1 исследуемой древесины. Длина планок и место их крепления выбираются исходя из условия, что их свободные концы должны выходить не менее чем на 100 мм от поверхности конструктивных элементов. Далее на рабочие поверхности планок 5 устанавливаются два связующих элемента 6 и 7, один расположен у поверхности исследуемой древесины, а другой на некотором расстоянии от него ближе к свободному концу планки 5 соответственно. Связующие элементы образуют секущую конструктивный элемент в радиальном направлении плоскость, являющуюся

направлением исследования 3 (пробуравливания). В качестве уровня могут служить натянутые шнуры, канаты, лазерные уровни или подобные им.

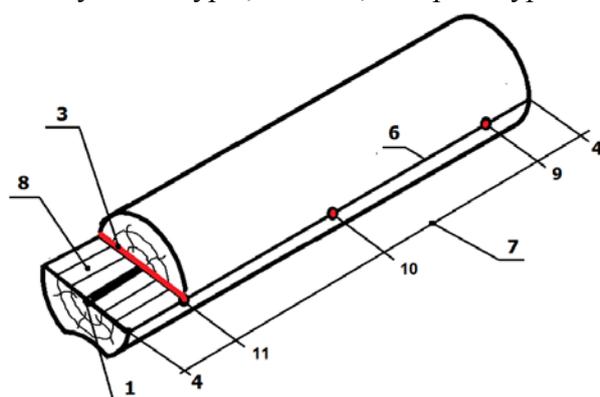


Рис. 1. Схема разметки участков для экспресс-диагностики на отдельно взятом конструктивном элементе сооружения

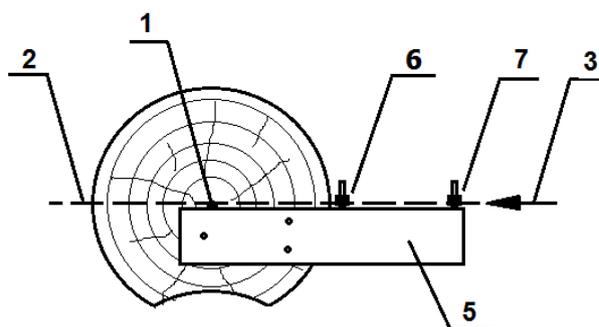


Рис. 2. Определение радиального направления экспресс-диагностики

При диагностике конструктивных элементов, имеющих обрешные поверхности, например, половых и потолочных досок, лаг и т. п., расположение годичных слоев может определяться как по текстуре, например, поз. 8 на рис. 1, так и по их торцам. Остальные действия по заданию направления для определения места отбора образцов и экспресс-диагностики выполняются аналогично, как при исследовании конструктивных элементов в круглом виде.

3. Ориентируясь на зафиксированные связующие элементы на бревнах или брусьях стен, отмечают 3 точки (поз. 9, 10, 11), как показано на рис. 3: по двум сторонам – расположенными с одинаковым смещением от чашки сруба (линия А и С) на расстоянии не менее 500 мм или от торца (для конструктивных элементов без чашек) на этом же расстоянии (4–9, 4–11); серединная – расположенная по центру стены (линия В).

4. При экспресс-диагностике определяются следующие характеристики выдержанной древесины: плотность по сопротивлению пробуравливанию (на месте расположения сооружения), модуль упругости, макроскопическое строение и внешний вид (в лабораторных условиях). По полученным данным определяется акустическая константа излучения звука K или они сопоставляются со стандартными (табличными) данными и делаются соответствующие выводы.

В заключение следует отметить, что предложенный способ экспресс-диагностики относится к области диагностики физико-механических свойств древесины, выдержанной в старых сооружениях. Основное назначение – неразрушающий отбор качественного материала целевого назначения с прогнозируемыми техническими характеристиками для изготовления музыкальных инструментов, акустических панелей зрительных залов, театров, а также других специальных сортиментов из древесины в машиностроении, авиационной и судостроительной промышленности.

Техническим результатом предложенных решений является повышение точности и оперативности экспресс-диагностики резонансных свойств древесины в старых сооружениях, подлежащих сносу, а также расширение диапазона проведения комплексных дендрометрических исследований непосредственно вблизи самого объекта.

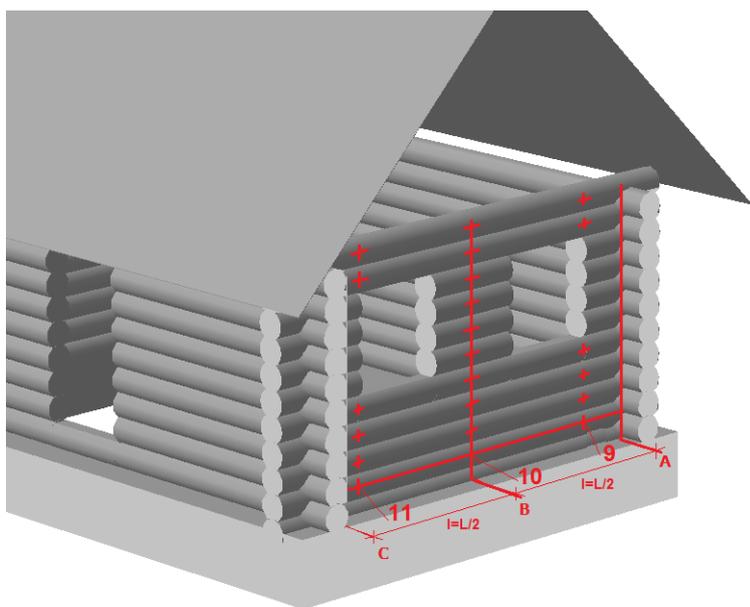


Рис. 3. Общая схема разметки участков для экспресс-диагностики бревенчатой стены сооружения

ЛИТЕРАТУРА

1. Заявка 2017128246 Российская Федерация, МПК6 G01N 33/46. Способ для экспресс-диагностики резонансных свойств выдержанной в старых сооружениях древесины / Федюков В.И., Чернов В.Ю., Чернова М.С.; заявители: Поволжский государственный технологический университет; № 2017128246; заявл. 07.08.2017.
2. Пат. 2130611 Российская Федерация МПК G01 N 33/46 (1995.01). Способ диагностики резонансных свойств древесины и устройство для его осуществления / Федюков В.И., Веселов Л.Н., Веселов В.Л. № 97109185/13; заявл. 28.05.1997; опубл. 20.05.1999.
3. Пат. 2439561 Российская Федерация МПК G01N 33/46 (2006.01). Способ ранней диагностики резонансных свойств древесины на корню / Федюков В.И., Салдаева Е.Ю., Васенев А.Л. № 2009111148/13; заявл 26.03.2009; опубл. 10.01.2012. Бюл. № 1. С. 7.
4. Пат. 2448811 Российская Федерация МПК В23В 25/06 (2006.01). Устройство для измерения сопротивления сверлению / Шарапов Е.С., Чернов В.Ю., Чернов Ю.В. № 2010145313/28; заявл. 08.11.2010; опубл. 27.04.2012. Бюл. № 12. С. 3.
5. Пат. 2577886 Российская Федерация МПК В23В 25/06 (2006.01). Устройство для экспресс-диагностики резонансных свойств древесины на корню / Федюков В.И., Салдаева Е.Ю., Цветкова Е.М., Васенев А.Л. № 2014118170/02; заявл. 05.05.2014; опубл. 20.03.2016. Бюл. № 8. С. 3.
6. Пищик И.И. Исследование свойств древесины длительной выдержки как материала для музыкальных инструментов: дисс. ... канд. техн. наук. М.: МЛТИ, 1973.
7. Пищик И.И. К вопросу использования длительно выдержанной древесины в музыкальных инструментах. // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. № 3. 2012. С. 115–117.
8. Уголев Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения: учебник для лесотехнических вузов. Изд. 3-е, перераб. и доп. М.: МГУЛ, 2001. 340 с.
9. Федюков В.И. Ель резонансная: отбор на корню, выращивание, целевое использование: монография. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2016. 256 с.

NON-DESTRUCTIVE METHOD FOR EXPRESS DIAGNOSTICS OF AGED WOOD RESONANT PROPERTIES IN OLD STRUCTURES

V.I. FEDYUKOV, V.Y. CHERNOV, M.S. CHERNOVA, N.A. MAGALYAS, O.V. TSOY

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Russia (Fiv48@mail.ru)

The method refers to physical and mechanical properties diagnostics field of aged wood in old structures. Invention aim is to accuracy and efficiency increase of wood resonance properties research

by express diagnostics in old structures that are subject to demolition. The problem of drilling path correct identification and establishment in wall logs and other structures elements to radial-transverse cores production is solving in this work. Authors presents a device and method for aged wood resonant properties express diagnostics in old structures, including rules for selection of structural elements, sites on elements for performing research and a process to identify, establish the correct direction of boring and to obtain radial-transverse cores. The results can be used in non-destructive selection of high-quality material for making musical instruments, acoustic panels for auditoriums.

КОЛОРОМЕТРИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВЫДЕРЖАННОЙ В СТАРЫХ СООРУЖЕНИЯХ ДРЕВЕСИНЫ

В.И. ФЕДЮКОВ, М.С. ЧЕРНОВА, В.Ю. ЧЕРНОВ

Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола, Россия
(Fiv48@mail.ru)

Важным условием при изготовлении высококачественных музыкальных инструментов является использование выдержанной в течение длительного периода древесины. Как правило, такой период составляет 50 лет и более. Чтобы изготовить первоклассные музыкальные инструменты, в первую очередь струнные смычковые (скрипки, альты, виолончели и т. п.), мастера прошлого и настоящего времени всегда стремились получить или раздобыть такую древесину. Это связано с тем, что древесина длительных сроков выдержки имеет весомые акустические преимущества перед свежеспиленной. Первые исследования в данной области были проведены в 70-е годы прошлого века. Однако в них не были выявлены различия модулей упругости, акустических констант, величин декремента колебаний свежеспиленной и выдержанной древесины. Далее И.И. Пищину удалось получить результаты, в которых четко прослеживались различия в жесткости и декремента колебаний старой древесины по сравнению с современной [3, 4]. Старая древесина имела более завышенные характеристики, что в свою очередь улучшало акустические качества музыкальных инструментов. Таким образом, были найдены различия в физико-механических свойствах выдержанной и современной древесины, а также установлена некоторая их взаимосвязь со временем эксплуатации древесины.

В процессе длительной эксплуатации у любой древесины меняется химический состав, а если быть точнее, содержание некоторых веществ (целлюлоза, гемицеллюлоза и т. д.). Поэтому изменение древесины на химическом уровне является причиной улучшения акустических и изменения других физико-механических свойств [4, 6, 7].

К наиболее устойчивым компонентам древесины относится лигнин, содержание которого в течение долгого времени – десятка и сотен лет – практически не меняется [1, 2, 5]. В работе [4] были выявлены повышение плотности, жесткости, коэффициентов разбухания и снижение прочности при статическом изгибе, а все исследованные характеристики имели очень высокую корреляцию с содержанием гемицеллюлоз.

Если сделать визуальный анализ выдержанной и свежей древесины, то можно отметить, что цвет этих материалов сильно отличается, а это свидетельствует о различиях в их химических составах и свойствах. Было также установлено, что чем старше древесина, тем ниже в ней уровни красного, зеленого и синего цветов RGB-системы. Это подтверждает выдвинутое предположение о том, что колориметрический анализ может быть одним из способов косвенной оценки выдержанной резонансной древесины. Однако в работе [3] колориметрический метод позиционировался с точки зрения датирования древесины, то есть была найдена взаимосвязь между изменением

цвета и возрастом (длительностью выдержки) древесины. Другие работы по определению взаимосвязи резонансных свойств с цветом на сегодня не обнаружены.

Поэтому актуальными научно-исследовательскими задачами в данной области являются:

- 1) определение взаимосвязи резонансных свойств и цветовых характеристик древесины;
- 2) разработка и обоснование новых способов экспресс-диагностики резонансной выдержанной в старых сооружениях древесины по колориметрическим показателям.

Коллективом авторов были выполнены поисковые исследования по определению колориметрических показателей выдержанной в старом сооружении резонансной древесины. В качестве объекта исследования выбран жилой бревенчатый дом (рис. 1) преимущественно из древесины ели (*Picea*) возрастом не менее 50 лет, расположенный в Республике Марий Эл, Сернурском районе, деревне Заречка-Она. С четырех сторон дома были выпилены фрагменты (части бревна) длиной по 600 мм (рис. 2), из которых в последующем были изготовлены образцы для колориметрических и ультразвуковых исследований (рис. 3).



Рис. 1. Объект исследования



Рис. 2. Выпиленные фрагменты

Для определения RGB-уровней аддитивной цветовой модели древесины использован колориметр PCE-RGB 2 (рис. 3). На рис. 4 приведена фотография пластей дощечек, изготовленных из выдержанной и свежеспиленной древесины.



Рис. 3. Колориметр PCE-RGB 2 и образцы



Рис. 4. Сопоставление дощечек выдержанной (сверху) и свежей (снизу) древесины ели

Образцы выдержанной и свежей древесины исследовались в одинаковых условиях при стандартной влажности. Для получения наиболее точных результатов механическая обработка поверхности образцов осуществлялась непосредственно перед исследованием, чтобы исключить случайный фактор – изменение цвета при хранении. Было изготовлено по 15 штук образцов выдержанной и свежеспиленной древесины.

Образцы ели, выпиленные из старого дома, были исследованы ультразвуковым прибором УК-14П; определена скорость прохождения звука и рассчитаны величины акустической константы K по предложенной академиком Н.Н. Андреевым формуле:

$$K = \sqrt{\frac{E_{дин}}{\rho^3}},$$

где $E_{дин}$ – динамический модуль упругости, МПа; ρ – плотность, кг/м³.

Результаты колориметрических исследований представлены на рис. 5 и в табл. 1.

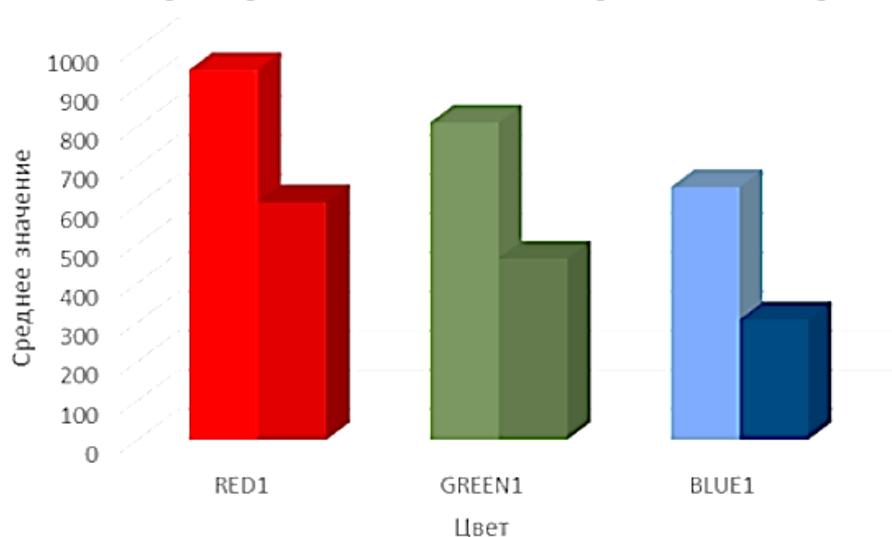


Рис. 5. Столбчатая диаграмма уровней RGB аддитивных цветовых моделей выдержанной (правые столбцы) и свежеспиленной (левые столбцы) древесины по красному (RED1), зеленому (GREEN1) и синему (BLUE1) цветам

Таблица 1. Результаты экспериментальных колориметрических исследований

| Основные статистические параметры | 1 группа Уровни <i>выдержанная</i> древесина, ед. | | | 2 группа Уровни <i>свежеспиленная</i> древесина, ед. | | |
|-----------------------------------|--|---------|-------|---|---------|--------|
| | красный | зеленый | синий | красный | зеленый | синий |
| 1. Минимум | 593,0 | 448,0 | 292,0 | 836,0 | 705,0 | 552,0 |
| 2. Среднее | 608,1 | 463,9 | 308,1 | 945,3 | 810,9 | 646,1 |
| 3. Максимум | 625,0 | 480,0 | 323,0 | 1004,0 | 876,0 | 706,0 |
| 4. Разброс | 104,1 | 111,9 | 104,5 | 1639,5 | 1661,4 | 1367,2 |
| 5. СКО | 10,2 | 10,6 | 10,2 | 40,5 | 40,8 | 37 |

Анализируя результаты экспериментальных колориметрических исследований, можно отметить, что по средним значениям уровни RGB аддитивных цветовых моделей древесины, выдержанной в старых сооружениях, по отношению к свежеспиленной меньше на: 64 % – по красному цвету; 57 % – по зеленому цвету; 48 % – по синему цвету. Разница уровней по минимальным значениям незначительно ниже представленных, а по максимальным существенна и равна 7 %. Также следует обратить

внимание на многократную разницу в величинах разброса экспериментальных данных 2 групп, которая доходит почти до 16 раз (1576 %), и, как следствие, существенное отличие среднеквадратического отклонения.

В данной работе было экспериментально подтверждено, что древесина в старых сооружениях может обладать высокими акустическими свойствами, что связано с ее длительной выдержкой и изменением содержания органических веществ; известно, что с течением времени содержание целлюлозы и гемицеллюлозы уменьшается, а процентное содержание лигнина увеличивается, тем самым повышается жесткость древесины [3, 4]. Также была установлена разница уровней RGB аддитивных цветовых моделей древесины, выдержанной в старых сооружениях по отношению к свежеспиленной, определены основные статистические показатели. Существенный по величине разброс экспериментальных колориметрических данных свежеспиленной древесины может свидетельствовать о высокой градации уровней RGB аддитивной цветовой модели у разных образцов и/или неточности их определения. Таким образом, следует продолжить обширные и углубленные исследования по данной тематике, а именно – определить взаимосвязи резонансных свойств и цветовых характеристик древесины; разработать и обосновать новые способы экспресс-диагностики резонансной выдержанной в старых сооружениях древесины по колориметрическим показателям.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кистерная М.В., Козлов В.А.* Изменение химического состава древесины при длительной эксплуатации // Материалы III Междунар. симпозиума «Строение, свойства и качество древесины». Петрозаводск, 2000. С. 131–133.
2. *Кистерная М.В.* Оценка состояния архитектурных памятников. Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. М.: МГУЛ, 2000. 24 с.
3. *Пищик И.И.* Исследование свойств древесины длительной выдержки как материала для музыкальных инструментов. Канд. дисс. М.: МЛТИ, 1973. 222 с.
4. *Пищик И.И., Фефилов В.В., Бурковская Ю.И.* О химическом составе и физических свойствах свежей и выдержанной древесины // Известия вузов. Лесной журнал. Архангельск, 1971. № 6. С. 89–93.
5. *Фенгел Д., Вегенер Г.* Древесина (химия, ультраструктура, реакции). М.: 1988. 512 с.
6. *Федюков В.И.* Экспресс-диагностика и отбор резонансной древесины. Йошкар-Ола, 1995.
7. *Федюков В.И.* Ель резонансная: отбор на корню, выращивание, целевое использование: монография. М-во образования и науки РФ, ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет». Йошкар-Ола: ПГТУ, 2016. 255 с. [Электронный ресурс].

COLOMETRIC FEATURES OF AGED WOOD IN OLD CONSTRUCTIONS

V.I. FEDYUKOV, M.S. CHERNOVA, V.Y. CHERNOV

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Russia (Fiv48@mail.ru)

An important aspect in the manufacture of high-quality musical instruments is used aged wood. This wood has a high rigidity and the decrement of fluctuations in comparison with modern wood. This is due to the change in the percentage of lignin, cellulose and hemicellulose. In work basic researches by definition of colorimetric indicators of the resonant wood kept in old structures are presented. The difference of the RGB levels of aged wood additive color models kept in old structures in relation to modern wood has been established, the main statistics are defined. The directions of a further research task are defined.

ВЛИЯНИЕ СТРОЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ НА КАЧЕСТВО СКЛЕИВАНИЯ

А.Н. ЧУБИНСКИЙ, Д.С. РУСАКОВ, М.А. ЧУБИНСКИЙ, Г.С. ВАРАНКИНА

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет, Санкт-Петербург, Россия (a.n.chubinsky@gmail.com)

Поверхность механически обработанной древесины можно представить как совокупность перерезанных клеток древесины (трахеид, сосудов, волокон либриформа), с которыми клей вступает в контакт.

Исследование поверхностных свойств [1–6, 10] и строения древесины березы, осины, лиственницы на микроуровне представляет безусловный интерес для изучения взаимодействия древесины различных пород с водой, жидкими клеящими и защитно-декоративными веществами. Это сложная многопараметрическая задача, решение которой может явиться новым инструментом для обоснования наукоемких технологических процессов сушки, пропитки, склеивания и отделки древесины.

Анализ микроструктуры древесины позволяет предположить возможность применения теории фракталов для описания ее эффективных характеристик.

Методика исследования. Глубина проникания клея в древесину зависит от макро- и микростроения древесины [7–9] и может быть определена и по формуле (1) в зависимости от эффективного радиуса полости и вязкости связующего, которая в свою очередь является функцией температуры.

$$h = \frac{\Delta P}{n \cdot 4 \cdot v \eta} R_k^2 \left\{ 0,4 \left[1 + 0,125(T - 20)^{0,5} \right] \right\}, \quad (1)$$

где h – глубина проникновения клея в древесину, м;

ΔP – разность давлений на концах капилляра, Па;

η – коэффициент вязкости, Па·с;

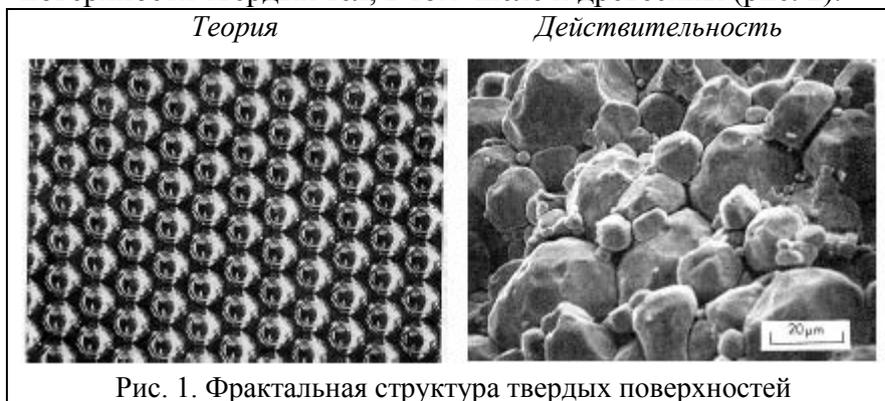
v – скорость перемещения клея в древесине, м/с;

R_k – эффективный радиус полости (капилляра) в древесине, м;

n – число полостей (капилляров), в которые проникает связующее;

T – температура связующего, °С.

Эффективный размер проводящих полостей древесины может быть определен с учетом ее фрактальной структуры (рис. 1). Свойство отдельных частей быть подобными всей структуре в целом называют фрактальным [2]. Фрактальны почти все поверхности твердых тел, в том числе и древесины (рис. 2).



древесины, в явном виде записывается следующим образом:

$$f(x) = \sum_{m=1}^M 7^{-0,05m} \cos(7^m x), \quad M = 1, 2, 3, \quad (2)$$

Предфрактальная функция (2), полученная на основе функции Вейерштрасса – Мандельброта, которую можно использовать для вычисления эффективных характеристик

где x – характеристика эффективного размера проводящей полости древесины: $x = r / r_0$;
 r – размер полости в безразмерном виде;
 r_0 – масштаб фрактальной структуры древесины, определяемый экспериментальным путем.



Рис. 2. Фрактальная структура древесины лиственницы (а) и активированного угля (б)

Размеры структурных элементов древесины измеряли на снимках, полученных на оптическом и электронном сканирующем микроскопах, с целью определения характера их распределения и эффективного радиуса полостей.

Результаты исследований и их анализ

анализ. Полученный нами расчетный эффективный размер проводящей полости древесины осины равен 40 мкм, что хорошо согласуется с экспериментальными данными; ширина полостей, в которые проникает клей, находится в диапазоне от 24 до 43 мкм (табл. 1, рис. 3).

Таблица 1. Размер полостей в древесине

| Порода древесины | Наименование показателя | Значение показателя, мкм | |
|---------------------------------|--|--------------------------|-----------------------------------|
| | | Среднее значение | Среднее квадратическое отклонение |
| Береза | Ширина полости (диаметр внутренней полости сосудов и волокон либриформа) | 0,0276 | 0,0083 |
| Осина | Ширина полости (диаметр внутренней полости сосудов и волокон либриформа) | 0,0325 | 0,0031 |
| Лиственница (ранняя древесина) | Ширина полости (диаметр/ширина внутренней полости трахеиды) | 0,0373 | 0,0069 |
| Лиственница (поздняя древесина) | Ширина полости (диаметр/ширина внутренней полости трахеиды) | 0,0244 | 0,0023 |

В процессе склеивания происходит сжатие древесины под действием давления прессования, что приводит к уменьшению объема полостей:

$$V_t = V_0 \cdot \exp\left(\frac{3(\sigma_0 - \sigma)}{\eta} t\right), \quad (3)$$

где V_0, V_t – объем полостей в начальный и в момент времени t соответственно;

σ_0, σ – напряжения сжатия в древесине, начальное и в момент времени t соответственно;

η – реологическая вязкость древесины, определяемая экспериментальным путем.

Проникновение клея в поверхностные полости древесины (рис. 4, 5) и его последующее отверждение, изменяя деформации и поверхностную пористость

древесины, не оказывают существенного влияния на характер распределения размеров проводящих полостей древесины. Отдельные древесные клетки, расположенные в пропитанной клеем зоне и около нее, имеющие повышенную влажность, сильно деформированы (рис. 4). Отдаленные от этой зоны клетки, как правило, вообще не меняют форму и размеры (табл. 2).

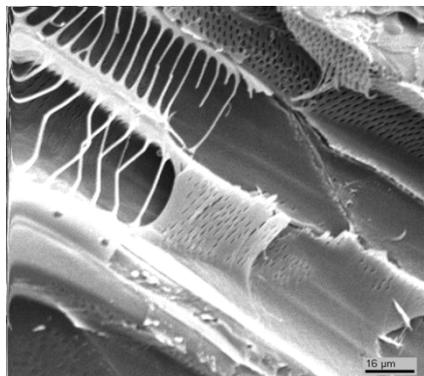


Рис. 3. Структура поверхности осинового шпона



Рис. 4. Микрофотография трахеид лиственничного шпона, часть из них наполнена клеем

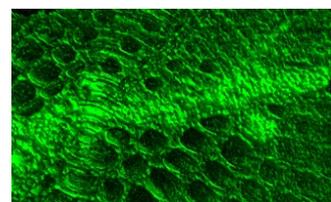


Рис. 5. Клеевой слой между листами березового шпона

Таблица 2. Количество деформированных и наполненных клеем древесных клеток на единице площади в зависимости от условий склеивания

| Условия прессования | Число деформированных древесных клеток | | | | | Число наполненных древесных клеток | | | | |
|---------------------|--|-----|------|------|------|------------------------------------|-----|-----|------|------|
| | 1,0 | 1,4 | 1,8 | 1,4 | 1,8 | 1,0 | 1,4 | 1,8 | 1,4 | 1,8 |
| Давление, МПа | 1,0 | 1,4 | 1,8 | 1,4 | 1,8 | 1,0 | 1,4 | 1,8 | 1,4 | 1,8 |
| Температура, °С | 120 | 120 | 120 | 140 | 140 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 |
| Минимум | 5 | 11 | 10 | 16 | 32 | 3 | 5 | 8 | 8 | 12 |
| Среднее значение | 8,5 | 16 | 20,5 | 22,5 | 40,5 | 4,5 | 8,5 | 12 | 12,5 | 16,5 |
| Максимум | 12 | 21 | 30 | 28 | 48 | 6 | 12 | 17 | 15 | 20 |

Выводы. Экспериментальные исследования глубины проникновения клея в шпон и деформирования древесных клеток методом электронной микроскопии показали:

– отсутствие сплошного чистого клеевого слоя между двумя листами шпона. Практически весь нанесенный на шпон клей адсорбируется древесиной. Исходя из этого понятие «клеевой слой» может быть определено как зона древесины, пропитанной клеем;

– область древесины, пропитанной клеем, деформируется в большей степени, чем непропитанная. Это еще раз подтверждает известный факт о влиянии влажности на деформации древесины;

– глубина проникновения клея в раннюю зону значительно больше, чем в позднюю. Это объясняется не только различной толщиной стенок клеток, но и меньшим их разрушением в процессе лущения у поздней древесины. В среднем клей проникает в шпон на глубину 0,06–0,16 мм, толщина деформированной зоны составляет 0,08–0,6 мм;

– максимальная деформация древесных клеток наблюдается у предлежащего к наружному листу шпона. Это является следствием нанесения на него клея: в результате возрастает влажность древесины. Кроме того, клея в этом слое в два раза больше, чем в наружном, что способствует фиксации деформации после отверждения связующего;

– структура и толщина клеевого слоя крайне неоднородны и неравномерны,

в отдельных местах клеевой слой вообще отсутствует (листы шпона, пропитанные клеем, непосредственно контактируют друг с другом);

– некоторые наружные клетки листов шпона открыты и не заполнены клеем. Вполне вероятно, что в них расположена парагазовая смесь.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Исаев С.П.* Структура клеевых слоев и качество склеивания листовенного шпона // Актуальные проблемы лесного комплекса. Брянск: Брянская государственная инженерно-технологическая академия. 2017. № 48. С. 39–42.
2. *Коваленко И.В., Чубинский М.А., Русаков Д.С., Варанкина Г.С.* Поверхностные свойства и строение древесины осины // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2016. Вып. 217. С. 182–193.
3. *Мелехов В.И., Рудная Н.С.* Влияние микрорельефа сопрягаемых поверхностей древесины на прочность склеивания // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2014. № 6 (342). С. 102–108.
4. *Русаков Д.С., Иванов А.М., Чубинский М.А., Варанкина Г.С.* Исследование критического поверхностного натяжения и способности смачиваться древесины разных пород // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2017. Вып. 221. С. 271–281.
5. *Рыбин Б.М., Кириллов Д.В.* Оценка фактического объема полостей неровностей на обработанной поверхности древесины // Вестник Московского государственного университета леса: научно-информ. журнал – Лесной вестник. 2014. Вып. 4. С. 131–137.
6. *Щепкин В.Б.* Влияние степени заполнения объема радиальной поверхности древесины клеевыми материалами на прочность клеевых соединений // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2011. Вып. 70 (06). С. 102–108.
7. *Чубинский А.Н., Тамби А.А., Федяев А.А.* Влияние строения и свойств древесины на прочность ее склеивания // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 190. СПб.: СПбГЛТА, 2010. С. 155–163.
8. *Чубинский А.Н., Тамби А.А., Варанкина Г.С., Федяев А.А., Чубинский М.А., Швец В.Л., Чаузов К.В.* Физические методы испытаний древесины. СПб.: СПбГЛТУ, 2015. 125 с.
9. *Чубинский А.Н., Тамби А.А., Чаузов К.В., Кульков А.М.* Исследование клеевых соединений древесины // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. 2016. № 2 (109). С. 120–125.
10. *Чубинский А.Н., Коваленко И.В., Русаков Д.С., Варанкина Г.С.* Обоснование режимов склеивания осинового шпона // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2017. Вып. 218. С. 187–198.

THE INFLUENCE OF THE STRUCTURE OF WOOD ON THE QUALITY OF GLUEING

A.N. CHUBINSKY, D.S. RUSAKOV, M.A. CHUBINSKY, G.S. VARANKINA

St. Petersburg State Forestry University, St. Petersburg, Russia (a.n.chubinsky@gmail.com)

The study of the surface properties and structure of birch, aspen, and larch wood on the microlevel is of unquestionable interest for studying the interaction of wood of various species with water, liquid adhesives and protective decorative substances. This is a complex multiparameter problem, the solution of which can be a new tool for substantiating high technology processes of drying, impregnating, gluing and finishing wood.

The dimensions of the structural elements of the wood were measured on the images obtained by optical and electronic scanning microscopes in order to determine the nature of their distribution and the effective radius of the cavities. Analysis of the microstructure of wood suggests the possibility of applying the theory of fractals to describe its effective characteristics.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ

В.А. ШАМАЕВ

Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия (drevstal@mail.ru)

В наших представлениях мы различаем прочность собственно материала и прочность конструкции из этого материала. Для изотропных материалов эти понятия довольно близки по прочностным характеристикам, для анизотропных различаются на несколько порядков. Так, предел прочности при растяжении у макрофибрилл отдельного волокна древесины составляет, по различным данным, от 1000 до 10 000 МПа, предел прочности на чистых образцах сечением 20x20 мм и длиной 90 мм при влажности 12 % составляет для древесины мягких пород 80–100 МПа, для твердых 110–170 МПа. Если же измерять прочность изделий на размерах сечением 30–100 мм и длиной 1–2 м, прочность окажется в 2–3 раза ниже, так как большое влияние будут оказывать пороки древесины.

В нашем исследовании мы остановимся на характеристике прочностных свойств древесины на уровне чистых образцов: для сжатия это образцы 20x20x30 мм (последний размер вдоль волокон), для растяжения – 20x20x90 мм (последний размер по длине зоны разрушения). Для чистых образцов определяющее влияние на прочность будет оказывать строение древесины, определяемое в первую очередь ее плотностью. Плотность древесины колеблется от 170 кг/м³ у бальзы до 1300 кг/м³ у бакаута, и чтобы нивелировать этот важнейший фактор, воспользуемся удельной прочностью: показателем, приведенным к единице плотности [1].

В табл. 1 представлены сравнительные значения удельной прочности при растяжении наиболее распространенных пород России и США и тюльпанного дерева, импортируемого из Африки.

Таблица 1. Удельная прочность при растяжении вдоль волокон при влажности 12 %

| № п/п. | Порода* | Плотность, кг/м ³ | $\sigma_{\text{раст}}$, МПа | Удельная прочность $\sigma_{\text{раст}}/\rho$, кПа/кг/м ³ |
|--|-------------------|------------------------------|------------------------------|--|
| 1 | Лиственница | 665 | 124 | 186,5 |
| 2 | Сосна | 505 | 109 | 215,8 |
| 3 | Ель | 445 | 101 | 227,0 |
| 4 | Кедр | 435 | 89 | 204,6 |
| 5 | Пихта | 375 | 66 | 176,0 |
| 6 | Акация | 800 | 171 | 213,8 |
| 7 | Граб | 975 | 129 | 132,3 |
| 8 | Бук | 680 | 134 | 197,06 |
| 9 | Тополь | 445 | 88 | 197,4 |
| * По данным Б.Н. Уголева [1] | | | | |
| 10 | Сосна веймутова | 360 | 78 | 216,7 |
| | виргинская | 480 | 103 | 214,6 |
| 11 | Ильм (вяз) | 640 | 138 | 215,6 |
| 12 | Дуб красный | 630 | 102 | 161,9 |
| 13 | Тюльпанное дерево | 460 | 154 | 334,8 |
| * По данным Forest Products Laboratori [3] | | | | |

Анализ табл. 1 показывает, что в целом удельная прочность при растяжении вдоль волокон у хвойных пород несколько выше, чем у лиственных. Несколько anomalно

высокое значение имеет удельная прочность древесины тюльпанного дерева. Это объясняется тем, что содержание ответственных за прочность волокон либриформа достигает в ней 75 %, тогда как у других пород – 35–50 %. Кроме того, эти волокна очень короткие (0,35–0,5 мкм), и сопротивление на разрыв у них выше. Следовательно, если бы мы захотели использовать материал с наибольшей удельной прочностью на растяжение, мы бы выбрали направление вдоль волокон и взяли бы из пород тюльпанное дерево или американскую иву, которые имеют небольшую плотность: 460 и 410 кг/м³, то есть содержание материала в объеме составляет соответственно 31 и 27 %.

Учитывая, что наибольшее число высокопрочных конструкций работает на сжатие, более подробно исследовалась прочность при сжатии вдоль волокон. Значения представлены в табл. 2.

Таблица 2. Удельный предел прочности при сжатии вдоль волокон при влажности 12 %

| № п.п. | Порода* | Плотность, кг/м ³ | $\sigma_{сж}$, МПа | Удельная прочность $\sigma_{сж}/\rho$, кПа/кг/м ³ |
|---|-------------------|------------------------------|---------------------|---|
| 1 | Лиственница | 665 | 62,0 | 93,2 |
| 2 | Сосна | 505 | 46,0 | 91,1 |
| 3 | Ель | 445 | 45,0 | 101,1 |
| 4 | Кедр | 435 | 40,0 | 91,9 |
| 5 | Пихта | 375 | 40,0 | 106,7 |
| 6 | Граб | 800 | 171 | 213,8 |
| 7 | Дуб | 690 | 57,0 | 82,6 |
| 8 | Береза | 640 | 54,0 | 84,4 |
| 9 | Осина | 495 | 43,0 | 86,9 |
| 10 | Тополь | 445 | 40,0 | 87,9 |
| 11 | Акация | 800 | 73,0 | 91,3 |
| 12 | Клен | 690 | 59,0 | 85,5 |
| 13 | Бук | 680 | 53,0 | 77,9 |
| 14 | Ясень | 680 | 56,0 | 83,2 |
| 15 | Груша | 700 | 58,0 | 82,3 |
| 16 | Орех грецкий | 590 | 55,0 | 93,2 |
| 17 | Ильм (вяз) | 650 | 47,0 | 72,3 |
| 18 | Липа | 495 | 46,0 | 92,9 |
| 19 | Ольха | 525 | 45,0 | 85,7 |
| * Регион произрастания – Россия [1] | | | | |
| 20 | Тюльпанное дерево | 420 | 38,2 | 91,0 |
| 21 | Гикори | 720 | 61,6 | 85,6 |
| 22 | Тик | 630 | 49,0 | 77,8 |
| 23 | Окотея | 930 | 89,9 | 96,7 |
| 24 | Цедрела | 360 | 30,7 | 85,3 |
| 25 | Гваяковое дерево | 1090 | 78,6 | 72,2 |
| 26 | Махагони | 501 | 45,7 | 91,1 |
| 27 | Бальза | 170 | 11,7 | 68,8 |
| 28 | Эвкалипт | 280 | 25,0 | 89,3 |
| * Регионы произрастания – Юго-Восточная Азия, Африка, Латинская Америка, п. 20–28 [4] | | | | |

Как видно из табл. 2, плотные породы древесины (граб, дуб, гваяковое дерево, тик) имеют сравнительно невысокое значение удельной прочности. Хвойные породы в целом на 10–30 % прочнее, чем лиственные. Это объясняется тем, что у хвойных пород более простое и упорядоченное строение, так как их древесина состоит в основном из прочных трахеид, ориентированных по оси ствола. Самые

низкие значения предельной прочности отмечены у вяза, поскольку волокна у него не имеют четкой ориентации по оси ствола. Наибольшее значение удельной прочности наблюдается у граба: это объясняется тем, что у граба прочность самой древесины выше, чем у других пород.

Поэтому при конструировании изделий из древесины с наибольшей удельной прочностью на сжатие мы выберем древесину граба. Если же необходимо, чтобы изделие обладало наибольшей удельной прочностью на сжатие и на растяжение, предпочтение следует отдать древесине ели или тюльпанного дерева.

Сравнивая данные таблиц 1 и 2, можно констатировать следующее. Природная древесина – малопрочный материал, на порядок уступающий по этому показателю, например, керамике, углестеклопластикам и легированным сталям. В то же время приведенная прочность у нее оказывается даже выше, чем у перечисленных материалов. Объясняется это тем, что древесина имеет ажурную конструкцию, которую миллионы лет создавала природа и которую мы не можем в точности воспроизвести искусственно. Увеличение прочности древесины может быть достигнуто путем ее модифицирования [2]. Это может быть либо увеличение содержания самой древесины в единице объема за счет ее прессования или сжатия, либо наполнение пустот древесины жидкими модификаторами (мономеры, олигомеры, синтетические смолы) с последующим отверждением. Так можно повысить плотность древесины вплоть до плотности древесинного вещества, а прочность – до прочности стали Ст3 или текстолита, то есть до предела прочности при сжатии вдоль волокон 200–220 МПа.

Однако удельная прочность прессованной или пропитанной древесины всегда оказывается ниже, чем натуральной древесины, для сжатия на уровне 50–70 кПа/кг/м³. В древесину невозможно ввести высокопрочные материалы, например, жидкие стали из-за ее низкой теплостойкости. Возможности известных способов модифицирования оказываются исчерпанными.

У натуральной древесины высокая удельная прочность обеспечивается двумя факторами: высокой прочностью древесного волокна и близкой к оптимальной конструкцией механических элементов – трахеид и волокон либриформа, соединенных между собой.

Созданные в последнее время наноматериалы (фуллерены, нанотрубки и т. д.) пока не являются конструкционными из-за малых размеров, но имеют наивысшую удельную прочность.

Ранее предлагались различные способы увеличения прочности древесины путем ее сжатия [2]. Нами предлагается следующая схема получения конструкционного материала. Берем сухую заготовку из древесины граба. Если материал работает на сжатие, то этот граб, по данным табл. 2, имеет приведенную прочность 213,8 кПа/кг/м³ и плотность 800 кг/м³, что соответствует объемному содержанию древесинного вещества 54 %. Максимальные размеры заготовки с учетом чистоты образца принимаем за куб с ребром 300 мм влажностью 3–6 %. Производим исчерпывающую пропитку образца веществом А с заполнением всех пустот древесины. Такую пропитку можно осуществить автоклавным способом по методу «вакуум – давление – вакуум» за 4–6 циклов. Требования к веществу А: а) вязкость пропиточного раствора должна быть такой, чтобы раствор заполнил пустоты, но не проникал в клеточные стенки; б) вводимое в древесину вещество должно быть термостойким при температуре 300 °С и более. Таким веществом А может быть нанодисперсный кремнезем или каолин в виде суспензии в жидком связующем, термостойким при температурах 300–400 °С. В качестве связующего можно использовать фенолформальдегидную смолу Ф-10 или кремнийорганический компаунд «Викинг ПК-68». Эта смесь застывает в древесине, и ее обжигают при температуре 300–400 °С. При обжиге древесная составляющая

выгорает, и остается силикатная структура со строением, соответствующим структуре пустот древесины, и с пустотами, которые занимали элементы древесины. Эти пустоты в виде трубок и каналов заполняются жидким веществом В. В этом качестве могут выступать расплавы высоколегированных сталей, титановых сплавов, жидкие стеклопластики или наноматериалы в начальной стадии формирования, то есть в гелеобразном состоянии. После отверждения вещества В вещество А удаляют. Для силикатов это может быть обработка сильными щелочами с последующим центрифугированием.

Таким образом, мы получаем ажурную конструкцию, имеющую строение, соответствующее древесине пихты. Такой материал будет иметь предел прочности при сжатии вдоль волокон, близкий к прочности, например, титанового сплава, но масса его будет в 4 раза меньше, то есть удельная прочность увеличится минимум в 3 раза. Особенно такой эффект проявляется у углестеклопластиков и наноматериалов, имеющих наибольшую удельную прочность.

Выводы

1. Наибольшую удельную прочность на растяжение вдоль волокон имеет древесина тюльпанного дерева, на сжатие – древесина граба.

2. Для получения материалов, имеющих более высокую удельную прочность, предлагается сохранить конструкцию древесины, но вместо древесных волокон использовать титан, углестеклопластики или наноматериалы.

Материалы, представленные в данной статье, получены в рамках государственного задания Минобрнауки России № 11.3960.2017/4.6.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Древесиноведение* и лесное товароведение / Б.Н. Уголев. М.: Изд-во МГУЛ, 2007. 352 с.
2. *Модифицирование* древесины / В.А. Шамаев, Н.С. Никулина, И.Н. Медведев. М.: Флинта, Наука, 2013. 446 с.
3. *Wood Hardbook* by Forest Products Laboratory / Справочное руководство по древесине под ред. С.Н. Горшина и др. М.: Лесная пром-сть, 1979. 544 с.
4. *Grün K. Lexikon tropickusch Drevin – Prace yuud. Sv. 1. Praha, 1971. 332.*

A STUDY OF THE STRENGTH OF WOOD

V.A. SHAMAEV

Voronezh state university of forestry and technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia
(drevstal@mail.ru)

The strength of wood is much inferior to alloy steel, fiberglass. At the same time the reduced strength (referred to the unit of density) of wood is higher than that of the most durable construction materials. Wood represents the openwork design created by the nature and still it was not possible to restore it artificially. As a result of researches of the reduced durability of various breeds (more than 40) it is established that from the investigated breeds the greatest specific tensile strength has the Tulip tree, on compression of fir is pretty. The method of production of high-strength materials, such as titanium alloys, openwork porous structures with a structure corresponding to the structure of wood is proposed. Such designs will have durability of the material, but their density will be 3–4 times less.

СТАНДАРТЫ В ОБЛАСТИ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ

В.А. ШАМАЕВ

Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, Воронеж, Россия (drevstal@mail.ru)

Изыскания в области модифицирования древесины уже перешли от теоретических и экспериментальных исследований к практической реализации в промышленно развитых странах мира [7, 3]. В Европе и США выпускается древесина, прошедшая термическую обработку (Thermowood), обработанная уксусным ангидридом (Ассоја), полиэтиленгликолем (Kebony), прессованная древесина (Steipack, Steibwood), пластифицированная аммиаком (Lignamon) [5, 6, 10]. В России и Китае производится модифицированная карбамидом прессованная древесина (Дестам, Woodest) [4]. Имеется информация об организации производства модифицированной древесины по технологиям Belmadur и Metla [1, 2, 8].

Таблица 1. Стандарты РФ по модифицированной древесине и изделиям из нее, а также методам испытаний

| № п/п | Наименование | Номер | Перечень патентов, защищающих разработки |
|-------|--|---------------------------|--|
| 1 | Древесина модифицированная. Метод определения токсичности | ГОСТ 30567-98 | Патент РФ № 2346809 Способ получения модифицированной древесины 2009 г.; Патент РФ № 2378106 Способ пропитки древесины 2010 г.; Патент РФ № 2400587 Деревянная шпала 2010 г.; Патент РФ № 2391202 Способ получения модифицированной древесины 2010 г.; Патент РФ № 2401195 Способ получения модифицированной древесины 2010 г.; Патент РФ № 2454444 Способ склеивания модифицированной древесины 2012 г.; Патент РФ № 2476311 Способ получения модифицированной древесины 2013 г.; Патент РФ № 2511302 Устройство для пропитки древесины с торца под давлением 2014 г.; Патент РФ № 2539022 Подшипник скольжения и способ его изготовления 2015 г. |
| 2 | Древесина модифицированная. Технические условия | ГОСТ Р 54577-2011 | |
| 3 | Древесина модифицированная для подшипников скольжения. Технические условия | ГОСТ Р 54912-2012 | |
| 4 | Древесина модифицированная. Методы определения прочности, твердости и жесткости втулок | ГОСТ Р 55657-2013 | |
| 5 | Древесина модифицированная. Метод определения износостойкости и коэффициента трения | ГОСТ Р 55951-2014 | |
| 6 | Подшипники скольжения из модифицированной древесины. Допуски и посадки | ГОСТ Р 55944-2014 | |
| 7 | Продукция из огне-биостойкой модифицированной древесины. Технические условия | ГОСТ Р 56613-2015 | |
| 8 | Древесина модифицированная. Заготовки для шпал и столбов ЛЭП | ГОСТ Р 56879-2016 | |
| 9 | Древесина модифицированная. Классификация способов. Термины и определения. | стадия разработки 2018 г. | |
| 10 | Древесина модифицированная. Методы определения физических свойств (плотность, влажность, водопоглощение, влагопоглощение, линейное разбухание) | стадия разработки 2018 г. | |

В связи с этим возникла необходимость в сертифицировании и стандартизации технологий, материалов и изделий из модифицированной древесины. В РФ эта

обязанность возложена на Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова как головную организацию в области модифицирования древесины. Перечень разработанных стандартов приведен в табл. 1.

Как видно из табл. 1, утвержденные и разработанные стандарты охватывают три области: методы испытаний модифицированной древесины, описание существующих способов модифицирования и описание конкретных изделий. К таким изделиям относятся подшипники скольжения, шпалы и столбы ЛЭП, паркетные доски, двери, детали профильные для строительства, несъемная опалубка, крепь анкерная для шахт. Эти изделия подлежат обязательной сертификации.

Материалы, представленные в данной статье, получены в рамках государственного задания Минобрнауки России № 11.3936.2017/4.6.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Шамаев В.А., Никулина Н.С., Медведев И.Н.* Модифицирование древесины. М.: Флинта, Наука, 2013. 455 с.
2. *Durability of Modified Wood – Laboratory vs Field Performance.* Westin Mats, Technical Research Institute of Sweden, Boras, Sweden, 2010. 142.
3. *Effect of combined compression and thermal modification on mechanical performance of aspen and birch wood / Veikko Möttönen, Yağmur Bütün, Henrik Heräjärvi, Juhani marttila, Henri Kaksonen // Pro Ligno – 2015. Vol. 11. N 4. Pp. 310–317.*
4. *Official site of Accoya company [Электронный ресурс]. URL: <https://www.accoya.com/why-accoya/benefits/>.*
5. *Official site of Kebony company [Электронный ресурс]. URL: <http://kebono.com/en/products/>.*
6. *P.E. Cox Wood hardening procedures. Pat. USA WO2006121352A1, PCTNZ 2006/000105. 2006. 11 p.*
7. *Poncsak S., Kocaepe D., Younsi R.* Improvement of the heat treatment of jack pine (*Pinus banksiana*) using thermowood technology. *Holz als Rohund Werkstoff.* 2011. Vol. 69. № 2. P. 281–286.
8. *Processing bulk natural wood into a high-performance structural material / Jianwei Song, Chaoji Chen, Shuze Zhu and others // Nature. 2018. Vol. 554. Pp. 224–228.*
9. *Sandberg D., Haller P., Navi P.* Thermo-hydro and thermo-hydro-mechanical wood processing: an opportunity for future environmentally friendly wood products. *Wood Material Science and Engineering.* 2013. Т. 8. № 1. С. 64–88.
10. *Vapour Sorption Studies of Belmadur Wood / Papadopoulos Antonios N., Mantanis George I. // Advances in Forestry Letter (AFL). 2012. Vol. 1. Issue 1. Pp. 1–6.*

STANDARDS FOR THE MODIFICATION OF WOOD

V.A. SHAMAEV

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia (drevstal@mail.ru)

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov is engaged in the development of manufacturing technology and the organization of production of modified wood of various grades and applications. In 2018, plans to develop two State standards: 1) Modified wood. Classification of ways. Terms and Definitions; 2) Modified wood. Methods for determining physical properties (density, moisture, water absorption, moisture absorption, linear swelling). The social importance of standards is to improve working conditions by reducing the duration of testing, reducing labor costs for repair and restoration work.

ВЛИЯНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ ГИДРОТЕРМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОЧВ НА СТРУКТУРУ ГОДИЧНЫХ КОЛЕЦ ЛИСТВЕННИЦЫ ГМЕЛИНА

А.В. ШАШКИН, В.Е. БЕНЬКОВА, Д.А. МАШУКОВ

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия (shashkin@ksc.krasn.ru, benkova@yandex.ru, mashukov1988@gmail.com)

В северо-таежных древостоях, развивающихся на многолетней мерзлоте, распространено явление суховершинности. Одна из возможных причин появления суховершинности — острый водный дефицит [3], который могут испытывать деревья в специфических гидротермических условиях многолетнемерзлых почв. Несмотря на обилие влаги в сезонно-талом слое, деревья могут испытывать «физиологическую засуху» из-за низкой температуры почвенной воды, которая обуславливает пониженную вязкость последней и пониженную функциональную активность корневой системы. При этом верхушки деревьев, имеющие низкий водный потенциал по сравнению с ниже расположенными частями дерева [4], оказываются в наиболее неблагоприятных условиях. Недостаточное водообеспечение верхушек может привести к усыханию.

Исследование проводилось вблизи пос. Тура на базе Эвенкийского опорного экспедиционного пункта ИЛ СО РАН (64°19'23" с. ш., 100°13'28" в. д.) в лиственничнике багульниково-бруснично-голубичном лишайниково-зеленомошном, который сформировался на мерзлотных почвах склона северной экспозиции с уклоном 7–8°, расположенного в нижнем течении ручья Кулингдакан. Более 60 % деревьев на склоне было с сухими верхушками. На пробной площади отобрали тринадцать не поврежденных суховершинностью и соседних с ними двенадцать суховершинных деревьев.

В строении годичных колец на верхних уровнях высоты стволов (на $\frac{3}{4}$ высоты и у верхушки) суховершинных деревьев мы обнаружили признаки «нарушенности» (рис. 1а, б), которые отсутствовали на нижних уровнях (на $\frac{1}{2}$ и $\frac{1}{4}$ высоты ствола). Оказалось, что у разных деревьев «нарушенности» появились не одновременно, а с разбросом в несколько лет, с 1985 по 1997 г. Основные признаки «нарушенности»: нарушается рядность трахеид (рис. 1а, б); становятся более тонкими стенки ранних и поздних трахеид, и со временем позднюю зону в годичных кольцах, так же как и сами годичные кольца, трудно, а иногда невозможно различить.

Сравнительный анализ анатомических характеристик древесины ствола (радиального размера люмена и толщины стенки трахеид), средних за период 1985–2009 гг. (рис. 2), характеризующийся наличием «нарушенностей» в строении годичных колец, выявил следующее:

– У обеих групп деревьев средний размер люмена трахеид и толщина их стенок уменьшается по высоте ствола. Убывающий тренд люмена снизу вверх по стволу является типичным для всех деревьев [1, 5]. В нашем случае он более четко выражен у суховершинных деревьев по сравнению со здоровыми (рис. 2). Средние значения размера люмена и толщины стенок трахеид под усохшей верхушкой в 1,5 и 2 раза (соответственно) меньше, а под неповрежденной верхушкой — в 1,2 и 1,4 раза меньше, чем на $\frac{1}{4}$ высоты ствола;

– Обе группы деревьев слабо различаются по среднему радиальному размеру люмена и средней толщине стенок трахеид в нижней части ствола (на $\frac{1}{4}$ высоты). Различие между обеими группами деревьев четко проявилось вблизи верхушек: у суховершинных деревьев средний радиальный размер люмена достоверно (при $P \geq 0,95$)

меньше (в 1,3 раза), а стенки трахеид примерно в 2 раза тоньше, чем у здоровых.

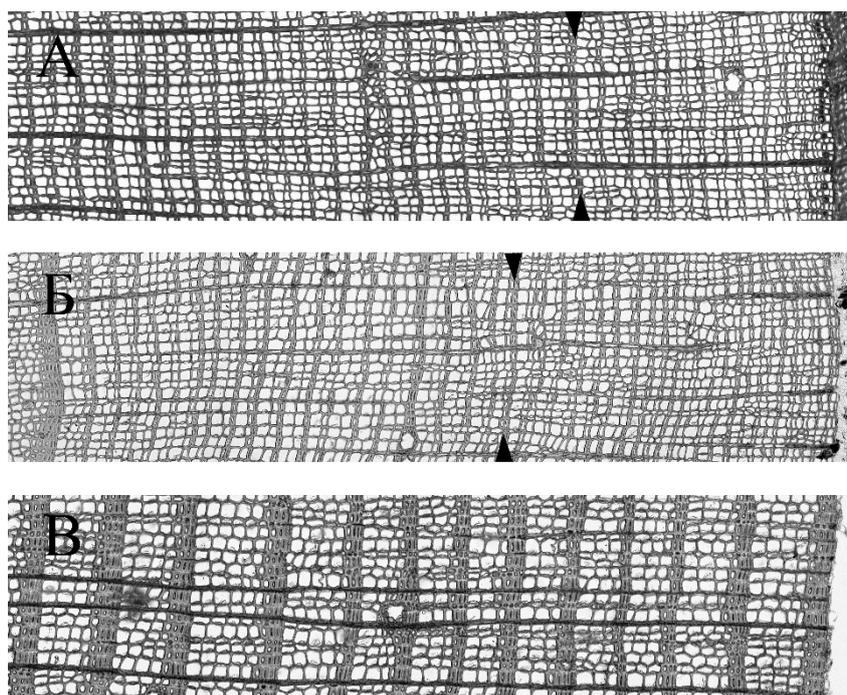


Рис. 1. Ксилотомическое строение годичных колец под верхушкой (А), на 3/4 высоты (Б) и на 1/2 высоты ствола (В) у суховершинных деревьев лиственницы. Стрелками указан год появления нарушений: А – 1994 г.; Б – 1989 г. На 1/2 высоты (В) нарушения отсутствуют (последнее годичное кольцо на А, Б и В образовано в один и тот же год)

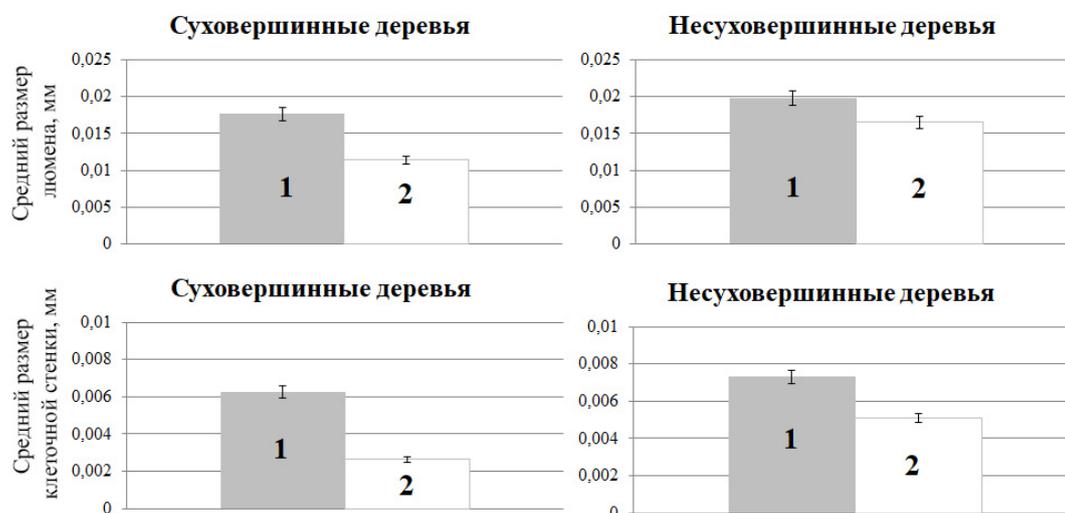


Рис. 2. Средние за период 1985–2009 гг. радиальный размер люмена и толщина стенки трахеид на высоте 1/4 (1) и верхушки (2)

Для выявления различия в реакции суховершинных и здоровых деревьев на климатические факторы использовались *скользящие корреляционные климатические функции отклика* индексов радиального прироста, поскольку они детально отражают внутрисезонное влияние на радиальный рост погодных условий. Выделяются два временных отрезка, когда радиальный прирост суховершинных и здоровых деревьев достоверно коррелирует с климатическими факторами. Первый период длится примерно две недели (третья декада апреля — начало мая) и характеризуется

отрицательной корреляцией с температурой воздуха. У суховершинных деревьев радиальный прирост на всех уровнях высоты ствола, а у здоровых деревьев – на уровне $\frac{3}{4}$ высоты ствола отрицательно связан с температурой воздуха. Отмеченный период предваряет начало радиального роста лиственницы Гмелина в данной местности [6]. Относительно высокие (выше среднемноголетних) температуры воздуха в конце апреля могут «спровоцировать» начало процесса предсезонной реактивации камбия. Однако за оттепелью неизбежно следуют морозные периоды; процесс реактивации камбия может быть приостановлен, что негативно отразится на ширине и анатомическом строении годичного кольца.

Второй период характеризуется положительной корреляцией радиального прироста на всех уровнях высоты ствола с обоими климатическими факторами. Периоды заметного влияния температуры воздуха на прирост на разной высоте ствола у здоровых и суховершинных деревьев могут незначительно различаться по срокам и длительности. Так, у суховершинных деревьев температурное влияние на прирост на $\frac{3}{4}$ высоты ствола сказывается с конца мая до двадцатых чисел июня, на прирост у верхушки и в нижней части ствола начинает проявляться примерно на 5 дней позже, в начале июня, и заканчивается примерно на пять дней раньше. У здоровых деревьев влияние температуры на прирост на $\frac{3}{4}$ высоты ствола продолжается до середины июня, на прирост у верхушки и в нижней части ствола — до двадцатых чисел июня. Период положительного влияния количества осадков на прирост гораздо короче, чем температуры, и проявляется раньше: это последняя декада мая. Для приростов на всех исследуемых уровнях высоты у суховершинных и здоровых деревьев этот период один и тот же. У суховершинных и здоровых деревьев выделяется еще один период с положительной корреляцией прироста с количеством осадков: это двадцатые числа июня — самое теплое и достаточно сухое время сезона. Однако влияние осадков заметно проявляется только на уровне $\frac{1}{4}$ высоты ствола.

Результаты анализа анатомического строения стволовой древесины и скользящих климатических функций отклика радиального прироста находятся в согласии с гипотезой о том, что все деревья на склоне северной экспозиции при пониженных (ниже среднемноголетних) значениях температуры воздуха и количества осадков с конца мая до двадцатых чисел июня испытывают водный дефицит. Отрицательное влияние последнего сказалось на деревьях в древостое по-разному. Разная реакция деревьев проявилась не столько в зависимости радиального прироста от климатических факторов, сколько в анатомическом строении древесины на верхних уровнях высоты ствола (на $\frac{3}{4}$ высоты и под усохшей верхушкой). Появление нарушений в анатомическом строении годичных приростов древесины свидетельствует о нарушении самого процесса дифференцировки меристематических клеток у определенных деревьев древостоя, верхние части стволов которых оказались в более жестких по водообеспечению условиях, что в конечном итоге со временем может привести к усыханию верхушек. Неодинаковые для деревьев в древостое условия произрастания могут быть обусловлены высокой пространственной неоднородностью гидротермических почвенных условий, связанной с высокой пространственной мозаичностью мохово-лишайникового покрова [2].

Авторы признательны А.С. Прокушкину за помощь в организации полевых исследований и предоставление необходимых данных. Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 17-04-01186).

ЛИТЕРАТУРА

1. Антонова Г.Ф. Рост клеток хвойных. Новосибирск: Сибирская издательская фирма «Наука» РАН, 1999. 232 с.

2. Зырянова О.А., Абаймов А.П., Бугаенко Т.Н. Оценка видового разнообразия и структуры листовничных ассоциаций криолитозоны Сибири // Биоразнообразии и динамика экосистем: информационные технологии и моделирование. Новосибирск: Наука, 2006. С. 495–504.
3. Николаев А.Н., Федоров П.П., Десяткин А.Р. Влияние гидродинамического режима мерзлотных почв на радиальный прирост листовницы и сосны в центральной Якутии // Сибирский экологический журнал. 2011. № 2. С. 189–201.
4. Kramer P.J., Boyer J.S. Water Relations of Plants and Soils. San Diego: Academic Press, 1995. 495 p.
5. Schweingruber F.H. Tree Rings and Environment. Dendroecology. Birmensdorf; WSL/FNP: Bern, Stuttgart, Vienna Haupt Publ., 1996. 609 Pp.
6. Yasue K., Kujansuu J., Kajimoto T., Nakai Y., Koike T., Abaimov A.P., Matsuura Y. Seasonal Changes in Stem Radial Growth of *Larix gmelinii* in Central Siberia in Relation to its Climatic Responses / Permafrost ecosystem: Siberian Larch Forest, Ecological studies (eds. Osawa A., Zyryanova O.A., Matsuura Y., Kajimoto T., Wein R.W). Springer, 2010. Vol. 209. P. 332–344.

THE EFFECT OF LOCAL HYDROTHERMAL PERMAFROST SOIL PROPERTIES ON TREE RING STRUCTURE OF GMELIN'S LARCH

A.V. SHASHKIN, V.E. BENKOVA, D.A. MASHUKOV

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia (shashkin@ksc.krasn.ru, benkova@yandex.ru, mashukov1988@gmail.com)

This paper is devoted to investigation on dynamics of radial growth and wood anatomical structure along stems of healthy and of stag-headed larch trees (*Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr.) in the even-aged larch forest growing in permafrost soil of the north facing slope (Central Siberia, 64°19'23" N, 100°13'28" E). Thirteen healthy and twelve stag-headed trees were chosen. Tree ring widths, lumen radial size and tracheid wall thickness at 1/4, 1/2, 3/4 of stem height and at 20–30 cm beneath apex were measured. Negative trends (from the bottom to top of the stem) of mean values of these features, especially evident in stag-headed trees, were revealed. In last two decades wood anatomical structure in higher parts of the stems of stag-headed trees having been modified. We observed crude distortion of radial rows of tracheids. Tree rings were going to be narrower and cell walls thinner, as a result, in outmost tree rings the boundary between early- and latewood (and between the rings as well) became invisible. From the results of the analysis of the «sliding time-window correlations», we concluded that the larch trees in the north facing slope feel water deficiency from the end of May to twentieth of June, that eventually could occur the reason of top drying. Occurrence of healthy and stag-headed larch trees together within the experimental site can be due high spatial mosaic of moss-lichen cover, which conditioned high mosaic hydrothermal soil properties.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ДНК-АНАЛИЗА В ЭКСПЕРТИЗЕ НЕЗАКОННОГО ОБОРОТА ДРЕВЕСИНЫ

Е.А. ШИЛКИНА, А.А. ИБЕ, М.А. ШЕЛЛЕР, Т.В. СУХИХ

Филиал федерального бюджетного учреждения «Российский центр защиты леса» – Центр защиты леса Красноярского края (krasgenles@mail.ru)

В настоящее время к числу наиболее острых экологических и экономических проблем во всем мире относят нелегальную заготовку леса. Незаконные рубки – одна из основных проблем российского лесного хозяйства. По темпам потери леса Россия занимает первое место среди других стран [2]. К основным причинам нелегальной заготовки древесины в Российской Федерации относят такие, как несовершенство лесного законодательства и практики его применения, кризис системы лесоуправления, коррупция, низкий уровень межведомственного взаимодействия, непрозрачность сделок с древесиной, низкий уровень жизни в провинции, устойчивый спрос на древесину вне зависимости от ее происхождения [3]. Как следствие, незаконные рубки и неустойчивые лесозаготовки ведут к обезлесению территорий и деградации лесов.

Для борьбы с незаконными лесозаготовками требуются высокоточные и надежные методы определения места происхождения древесины. Одним из эффективных подходов, позволяющих решить данную проблему, является генетическая экспертиза. Существующие методики генетического анализа основаны на использовании различных молекулярных маркеров. С их помощью можно быстро и точно провести идентификацию нелегально заготовленной древесины. В практике лесного хозяйства Российской Федерации генетические методы уже широко используются отраслевыми генетическими лабораториями ФБУ «Рослесозащита». В лабораториях была разработана методика, позволяющая проводить сравнение генетических профилей разных образцов.

Целью данной работы являлась апробация методики генетической экспертизы образцов древесины для определения степени их идентичности.

Объектами исследования служили образцы древесины сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), отобранные в рамках модельного эксперимента с площади вырубленной лесосеки (13 штук) и из места складирования деловой древесины (21 штука), итого 34 образца.

Древесину тщательно измельчали, гомогенизировали и выделяли ДНК модифицированным СТАВ-методом [1]. Генетическую экспертизу проводили с помощью исследования микросателлитных локусов ядерной ДНК (SSR-анализ). Использовали маркеры, подобранные на основе анализа литературных источников (табл. 1).

Для проведения ПЦР использовали наборы ScreenMix-HS производства ЗАО «Евроген» (Россия). В готовые (5х окрашенные) реакционные смеси ScreenMix-HS добавляли прямой и обратный олигонуклеотидные праймеры в концентрации 0,2–0,4 мкМ и выделенный образец ДНК сосны обыкновенной. ПЦР проводили в ДНК-амплификаторе T100™ Thermal Cycler (Bio-Rad).

Электрофоретическое разделение продуктов амплификации проводили в 6%-м полиакриламидном геле (ПААГ) с использованием 1хТАЕ буфера в камерах для вертикального электрофореза (VE-20, ООО «Хеликон») в комплекте с источниками питания при напряжении 200 В в течение 2 часов. Гели окрашивали раствором бромистого этидия с дальнейшей визуализацией ампликонов в УФ-свете с помощью системы гель-документации Gel-Imager. Считывание результатов анализа осуществляли с помощью программы Photo-Capt V.12.4 (Vilber Lourmat). Анализ

установленных генотипов проводили с помощью программы (макроса) GenAlEx, свободно распространяемой надстройки для MS Excel [7, 8].

Таблица 1. Характеристика отобранных для работы ядерных микросателлитных локусов для сосны обыкновенной

| № п/п | Локус | Мотив | Размеры ампликона, п.н. | Температура отжига, °С | Число аллелей | Источник |
|-------|----------------|---------------------------------------|-------------------------|------------------------|---------------|----------|
| 1 | lw_isotig04306 | (TCC) ₇ | 196 | 55 | 3 | [5] |
| 2 | lw_isotig21953 | (ATGGG) ₇ | 208 | 60 | 7 | [5] |
| 3 | lw_isotig27940 | (TGGA) ₅ | 231 | 55 | 3 | [5] |
| 4 | PfTx3116 | (TTG) ₇ (TTG) ₅ | 122–226 | 55 | 8-10 | [6] |
| 5 | PfTx3107 | (CAT) ₁₄ | 150–182 | 55–45↓1 | 5-6 | [6] |
| 6 | PfTx4001 | (CA) ₁₅ | 201–224 | 60–50↓1 | 4-7 | [4] |
| 7 | PfTx4011 | (CA) ₂₀ | 230–284 | 60–50↓1 | 21 | [4] |
| 8 | SPAC11.4 | (AT) ₅ (GT) ₁₉ | 130–170 | 65–55↓1 | 38 | [4] |
| 9 | psy119 | (GCT) ₇ | 315–324 | 55 | 3 | [9] |
| 10 | psy157 | (ACC) ₇ | 187–202 | 55 | 6 | [9] |

После проведения полимеразной цепной реакции (ПЦР) и электрофоретического разделения фрагментов выделенной ДНК получены документирующие снимки, свидетельствующие о сходстве или различии ДНК образцов древесины, отобранных с вырубленной лесосеки, и ДНК образцов древесины, взятых с места складирования. На основе данных электрофореграмм выявили 26 комбинаций многолокусных генотипов, четыре из которых встречались у нескольких образцов. Результаты совпадений генотипов между образцами представлены в табл. 2.

Таблица 2. Число совпадений генотипов у образцов древесины с вырубленной лесосеки с образцами древесины, взятыми с места складирования

| Образец | Обозначение генотипов | Число совпадений |
|------------------------------------|-----------------------|------------------|
| Образец с места складирования № 10 | A | 3 |
| Образец с места складирования № 9 | A | |
| Образец с лесосеки № 8 | A | |
| Образец с места складирования № 20 | B | 3 |
| Образец с места складирования № 2 | B | |
| Образец с лесосеки № 10 | B | |
| Образец с места складирования № 13 | C | 3 |
| Образец с места складирования № 5 | C | |
| Образец с лесосеки № 7 | C | |
| Образец с места складирования № 19 | D | 3 |
| Образец с места складирования № 16 | D | |
| Образец с лесосеки № 9 | D | |

Проведенный молекулярно-генетический анализ двух партий образцов выявил следующие соответствия «образец древесины, отобранный с вырубленной лесосеки – образец древесины, взятый с места складирования»: образец с места рубки № 8 соответствует образцам со склада № 9 и № 10 (генотип А); образец с места рубки № 10 – образцам со склада № 2 и № 20 (генотип В); образец с места рубки № 7 – образцам со склада № 5 и № 13 (генотип С); образец с места рубки № 9 – образцам со склада № 16 и № 19 (генотип D). Совпадение генотипов у образцов в месте складирования между

собой связано с сегментированием лесоматериала (стволы одного дерева распиливаются на несколько частей).

Таким образом, была подтверждена эффективность разработанной методики генетической экспертизы образцов древесины для определения степени их идентичности. В перспективе планируется расширение масштаба апробации методики. Результаты указанных работ могут быть использованы в дальнейшем для создания национальной системы контроля и учета заготавливаемой древесины и идентификации лесной продукции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Падутов В.Е. Методы молекулярно-генетического анализа / В.Е. Падутов, О.Ю. Баранов, Е.В. Воропаев. Мн.: Юнипол, 2007. 176 с.
2. Петрова Т.Г. Современное состояние экологической проблемы, связанной с незаконной рубкой, нелегальной заготовкой и оборотом древесины в России и за рубежом // Вестник Восточно-Сибирского института МВД России. 2016. 2 (77). С. 31–35.
3. Сухаренко А.Н. Под властью топора // ЭЖ-Юрист. 2014. 27. С. 1–3.
4. Belletti P., Ferrazzini D., Piotti A., Monteleone I., Ducci F. Genetic variation and divergence in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) within its natural range in Italy // European Journal of Forest Research. 2012. 131 (4): 1127–1138.
5. Fang P., Niu Sh., Yuan H., Li Zh., Zhang Yu., Yuan L., and Li W. Development and characterization of 25 EST-SSR markers in *Pinus sylvestris* var. *mongolica* (Pinaceae) // Applications in Plant Sciences. 2014. 2 (1): 1300057.
6. Liewlaksaneeyanawin Ch., Ritland C.E., El-Kassaby Yo.A., Ritland K. Single-copy, species-transferable microsatellite markers developed from loblolly pine ESTs // Theor. Appl. Genet. 2004. 109: 361–369.
7. Peakall R., Smouse P.E. GenAlEx v.6: Genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research // Mol. Ecol. Notes. 2006. 6 (1): 288–295.
8. Peakall R., Smouse P.E. GenAlEx v. 6.5: Genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research – an update // Bioinformatics Applications Note. 2012. 28 (19): 2537–2539.
9. Sebastiani F., Pinzauti F., Kujala S.T., Gonzalez-Martinez S.C., Vendramin G.G. Novel polymorphic nuclear microsatellite markers for *Pinus sylvestris* // Conservation Genet. Resour. 2012. 4: 231–234.

USING METHODS OF DNA ANALYSIS IN THE EXAMINATION OF THE ILLEGAL TIMBER TRADE

E.A. SHILKINA, A.A. IBE, M.A. SHELLER, T.V. SUKHIKH

Branch of The Federal Budget Institution «Russian Center of Forest Health» – Centre of Forest Health of Krasnoyarsk Region (krasgenles@mail.ru)

A successful approbation of the genetic examination of wood samples to determine the degree of their identity is presented. Genetic examination was carried out on the basis of 10 microsatellite loci of nuclear DNA. The genetic analysis of 2 lots of samples revealed 4 matching variants of genotypes between the wood samples taken from the logged area and the wood samples taken from the timber storage site. Further, it is planned to expand the scale of testing method.

ПЛОТНОСТЬ ДРЕВЕСИНЫ ЕЛИ И СОСНЫ НА ПОСТАГРОГЕННЫХ ЗЕМЛЯХ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО РЕГИОНА РОССИИ

С.Ю. ЯНУШ, Д.А. ДАНИЛОВ

Ленинградский НИИСХ «Белогорка», Ленинградская область, Россия (btkwood@mail.ru)

Древостои ели и сосны, произрастающие на бывших пахотных землях, отличаются большим запасом стволовой древесины, чем насаждения на лесных землях [1, 2, 5]. Увеличение количественных объемных показателей стволовой фитомассы не всегда сопровождается качественными изменениями, т. е. увеличением плотности древесины [3, 9, 12–15]. В настоящее время опубликован ряд работ, где рассматривались качественные характеристики древесины насаждений естественного и искусственного происхождения на постагроденных землях [1, 2, 7]. Для разработки малоизученных аспектов по данному направлению были проведены исследования плотности древесины ели и сосны в смешанных хвойных древостоях, произрастающих на бывших старопашотных землях в ландшафте Оредежского плато Ленинградской области. Почвы представляют собой деградированный агрозем, поверх которого образовался слой гумусового горизонта со следами оподзоливания мощностью 10–12 см за время образования лесного фитоценоза. Подстилающая порода двухчленная, сверху расположен супесчаный горизонт, а ниже – красноцветный моренный суглинок. Условия произрастания соответствуют I–Ia классу бонитета для региона исследования. В данных древостоях были заложены постоянные пробные площади с разной долей участия ели и сосны. Возраст сосновой части древостоев 80–85 лет, елового яруса 75–80 лет.

Для определения базисной плотности древесины сосны и ели нами были отобраны модельные деревья по наиболее представленным ступеням толщины древостоев. Базисная плотность древесины – расчетный показатель, который легко нормализуется для вычисления плотности древесины любой влажности. По методике Полубояринова [8] стволы данных деревьев распиливались, длина отрезков составляла 10 % от высоты ствола модельного дерева. Отдельно брался образец на высоте 1,3 м как таксационный диаметр. Базисная плотность древесины определялась методом максимальной влажности образцов древесины по Полубояринову [8]. Далее составлялось конверсионное уравнение, показывающее зависимость плотности древесины на уровне 1,3 м к средней плотности древесины ствола. Это позволяет в дальнейшем использовать керны древесины, отбираемые на этой высоте, для определения плотности древесины всего ствола без его валки и раскряжевки.

Расчет средней базисной плотности древесины для еловой и сосновой частей древостоя рассчитывался как средневзвешенная величина, в зависимости от представленности ступеней толщины деревьев в данном насаждении. Для выявления достоверных различий использовался пакет прикладных компьютерных программ, для статистической обработки – программа Statistica 11.

На основании отобранных от модельных деревьев образцов получены конверсионные уравнения для вычисления базисной плотности древесины по кернам, отобранным приростным буравом Пресслера на высоте 1,3 м от поверхности почвы для всего ствола дерева:

$$\text{для ели: } y=0,92x+28,22; R^2=0,93$$

$$\text{для сосны: } y=1,00x-45,87; R^2=0,70$$

Следует отметить, что разработанные конверсионные уравнения позволяют более точно оценить стволовую базисную плотность древесины, чем ранее опубликованные, дающие погрешность при определении данного показателя для исследуемых

древостоев: по сосне на 15–20 %, а по ели до 25 % [8].

По отобраным кернам древесины с представленных деревьев по ступеням толщины древостоя был проведен расчет средней базисной плотности древесины по ступеням толщины (табл. 1). Полученные результаты показывают, что в исследуемых древостоях размах средней базисной плотности древесины ели составляет 391–420 кг/м³, а сосны 376–382 кг/м³. Для региона исследования средние справочные данные для этих пород: ель 380 кг/м³, сосна 410 кг/м³. В смешанных хвойных фитоценозах региона исследования более высокая плотность древесины ели по сравнению с сосной отмечалась на землях лесного фонда, в наиболее производительных лесотипологических условиях в кисличном и травяно-таволжном осушенном типах леса [9, 11]. В данных древостоях наличие мощного 20–30-сантиметрового слоя бывшего пахотного горизонта позволяет ускоренно продуцировать объем древесины, но для сосны ускорение прироста древесины приводит к снижению ее плотности, а для ели нет. Этот факт ранее отмечался для древостоев сосны и ели, пройденных уходами в лесном фонде. Сосна более активно использует улучшение условий произрастания, чем ель [3, 6, 7, 10, 14]. Необходимо отметить, что в данных древостоях фактически не прослеживается закономерность убывания или возрастания плотности древесины по ступеням толщины деревьев у ели. У сосны возрастание и убывание плотности древесины согласуется с распределением стволов по ступеням толщины.

Таблица 1. Базисная плотность древесины ели и сосны на опытных объектах, кг/м³

| Ступени толщины, см | 12 | 16 | 20 | 24 | 28 | 32 | 36 | 40 | 44 | 48 |
|------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------|-----|-------------------|-------------------|-----|-----|
| № 1. Состав древостоя: 80Е18С1Б1Ос | | | | | | | | | | |
| Ель | 412 | 397 | 406 | 360 | 356 | 382 | 389 | 436 | 366 | 412 |
| | 448 | 446 | 383 | 356 | 385 | 373 | 360 | 409/418 | 341 | 448 |
| Сосна | - | - | 376 | 384 | 413 | 419 | 392 | 387 | 376 | 379 |
| | - | - | - | - | 373 | 393 | 374 | 381 | 367 | 387 |
| № 2. Состав древостоя: 55Е38С5Б2Ос | | | | | | | | | | |
| Ель | 406 | 462 | 445 | 383 | 408 | 437 | 427 | - | - | - |
| | 564 | 407 | 435 | 390 | 449 | 459 | - | - | - | - |
| Сосна | - | - | - | 396 | 348 | 404 | 367 | 377 | 374 | 323 |
| | - | - | - | 360 | 381 | 370 | 351 | 380 | 396 | 377 |
| № 3. Состав древостоя: 87Е11С2Б+Ос | | | | | | | | | | |
| Ель | 453 | 447 | 460 | 460 | 425/380 | 380 | 398 | 394 | 412 | 359 |
| | 461 | 474 | - | - | 353 | 436 | 420 | - | - | - |
| Сосна | - | - | 394 | <u>381</u> 386 | 384 | 379 | <u>373</u> 387 | <u>382</u> 370 | 383 | 372 |
| | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| № 4. Состав древостоя: 59С32Е4Б5Ос | | | | | | | | | | |
| Ель | 414 | 382 | <u>373</u> 365 | <u>377</u> 397 | 420 | 446 | 357 | 412 | - | - |
| | <u>411</u> 389 | <u>373</u> 366 | <u>399</u> 382 | 387 | 379 | - | - | - | - | - |
| Сосна | - | - | 372 | 356 | 409 | 364 | 358 | 391 | 398 | 372 |
| | - | - | 353 | 364 | 404 | 369 | 382 | 366 | 324 | 353 |

Рассчитанные коэффициенты вариации плотности древесины по ступеням толщины для ели составляют $C_v=6,3-10,8$ %, а для сосны $C_v=1,7-5$ %, что указывает на однородность этого параметра древесины в данных насаждениях. Плотность древесины по высоте ствола у сосны варьирует: $C_v=5-14$ %, у ели этот показатель составляет $C_v=4-10$ %.

Обычно в естественных древостоях, произрастающих на лесных землях, у ели вариабельность плотности выше по протяженности ствола, чем у ели, из-за разной протяженности кроновой части. Вероятно, на старопахотных землях в данном возрастном этапе в результате высокой полноты, 1,0, в этих насаждениях происходит смещение кроновой части у ели в более ранние сроки по высоте ствола, а у сосны кроновая часть в таком насаждении не испытывает затенение от еловой части древостоя. Все эти факторы отражаются на плотности древесины по протяженности ствола у этих пород.

Для выявления достоверных различий влияния состава насаждения на плотность древесины был проведен факторный дисперсионный анализ, который показал различную зависимость для елового и соснового элементов хвойных древостоев (табл. 2). Значимое влияние данный таксационный показатель оказывает только на еловую часть хвойных ценозов, для сосновой достоверного влияния анализ не выявил. По-видимому, данный факт можно интерпретировать как результат меньшей представленности деревьев сосны в ряду распределения по ступеням толщины исследуемых древостоев и меньшей вариабельностью по ступеням толщины. Для еловой части исследуемых древостоев взаимосвязь состава насаждения и плотности древесины ели вызвана большим рядом распределения по ступеням насаждения и, как следствие этого, большей вариабельностью плотности древесины по ним.

Таблица 2. Дисперсионный анализ влияния состава древостоя на базисную плотность древесины ели и сосны

| Дисперсия | Сумма квадратов | Степени свободы | Средний квадрат | Фактический критерий Фишера Fф | Теоретический критерий Фишера Fт p=1% | Вероятность принятия нулевой гипотезы |
|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Для ели | | | | | | |
| Общая | 112843,9 | 67 | | | | |
| Вариантов | 27532,47 | 3 | 9177,491 | 6,89 | 4,10 | 0,00043 |
| Остаточная | 85311,45 | 64 | 1332,991 | | | |
| Для сосны | | | | | | |
| Общая | 17507,2 | 52 | | | | |
| Вариантов | 966,4323 | 3 | 322,1441 | 0,95 | 4,21 | 0,42 |
| Остаточная | 16540,77 | 49 | 337,5667 | | | |

Проведенное исследование показало, что в смешанных хвойных древостоях, сформировавшихся на постагрогенных землях, плотность древесины ели выше средних показателей региона исследования; у сосновой части насаждения этот показатель имеет меньшие средние данные, чем в древостоях на лесных землях. Достоверное влияние состава насаждения оказывается только на еловую часть дендроценоза. Наиболее сбалансированное по показателям плотности насаждение на постагрогенных землях имеет состав 55Е38С5Ос2Б.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алятин М.В. Особенности происхождения, формирования и воспроизводства сложных ельников Ижорского (Силурийского) плато: дисс. ... канд. с.-х. наук: 06.03.03. Санкт-Петербург: СПб ГЛТА, 2006. 133 с.
2. Голубева Л.В. Лесоводственно-экологическая трансформация постагрогенных земель на карбонатных отложениях в подзоне средней тайги Архангельской области: дисс. ... канд. с.-х. наук. Архангельск: САФУ, 2015. 160 с.
3. Данилов Д.А., Беляева Н.В., Мельников Е.А. Результаты воздействия комплексного ухода на структуру и качество показателей древесины сосново-елового древостоя // Вестник Саратовского Госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. 2011. 8. С. 3–8.

5. *Еловые леса европейской части СССР* / Чертовской В.Г. Москва: Лесная пром-сть, 1978. 176 с.
6. *Корчагов С.А., Мелехов В.И.* Влияние удобрений и комплексных уходов на формирование древесины сосны в лесных культурах // Известия ТСХА. 2009. Вып. 2. С. 64–67.
7. *Лохов Д.В.* Лесоводственная оценка и показатели качества древесины культур сосны на залежных землях // Экологические проблемы Севера. Межвуз. сб. науч. тр. 2011. Вып. 14. С. 73–76.
8. *Плотность древесины* / Полубояринов О.И. Москва: Лесная пром-сть, 1976. 160 с.
9. *Смирнов А.А.* Влияние комплексного ухода на форму ствола и плотность древесины // Строение, свойства и качество древесины – 2004. Труды IV Междунар. симпозиума. Т. I. СПб.: ЛТА, 2004. С. 131–133.
10. *Смена сосны елью* / Г.А. Чибисов. Архангельск: СевНИИЛХ, 2010. 150 с.
11. *Царенко В.П., Данилов Д.А., Смирнов А.П.* Продуктивность и качество древесины смешанных елово-сосновых древостоев на почвах двучленного строения // Известия СПбГАУ. 2014. № 36. С. 55–60.
12. *Jyske T.* The effects of thinning and fertilisation on wood and tracheid properties of Norway spruce (*Picea abies*) – the results of long-term experiments // Department of Forest Resource Management, Faculty of Agriculture and Forestry University of Helsinki, Academic dissertation, 2008. 59 p.
13. *Pretzsch H., Schütze G.* Effect of tree species mixing on the size structure, density, and yield of forest stands // European Journal of Forest Research. January 2016. Vol. 135. Issue 1. Pp. 1–22F.
14. *Pikk J., Kask R., Peterson P.* The wood quality of fertilized Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands on *Vaccinium vitis-idaea* and *Cladonia* site type. Metsanduslikud Uurimused 44,9–19. ISSN 1406-9952.
15. *Repola J.* Models for Vertical Wood Density of Scots Pine, Norway Spruce and Birch Stems, and Their Application to Determine Average Wood Density *Silva Fennica*. 2006. 40 (4). 673–675

WOOD DENSITY OF SPRUCE AND PINE ON THE POSTAGROGENIC LANDS OF THE NORTH-WEST REGION OF RUSSIA

S.J. JANUSZ, D.A. DANILOV

Leningrad scientific research Institute of agriculture Belogorka, Leningrad region, Russia
(btkwood@mail.ru)

The paper considers the density of spruce and pines wood in ripe plantations grown on the lands of the former arable land in the Leningrad region. On the basis of the conducted research conversion equations allowing to calculate basic density of a trunk on the basis of selection of cores from height of 1,3 m of a trunk are received. The study notes the high density of spruce wood and the low density of pine trees in contrast to forest stands growing on forest soils. Statistical analysis of the obtained results revealed a significant dependence of the density of spruce wood on the share of its participation in the forest stand, and for the pine part of the forest stand did not reveal.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| Санаев В.Г., Горбачева Г.А. К 50-летию регионального координационного совета по современным проблемам древесиноведения (РКСД): сохраняя традиции, создаем будущее..... | 3 |
| Czupy I., Vágvölgyi A. Utilization of biomass for short rotation plantations..... | 8 |
| Mapelli S., Malvolti M.E. Black locust (<i>Robinia pseudoacacia</i> L.) resources for degraded area: physiological and biochemical responses to drought..... | 12 |
| Németh R., Báder M., Ábrahám J., Fodor F., Horváth N., Bak M. Wood modification related research at the University of Sopron..... | 16 |
| Niemz P., Bachtiar E. Moisture-dependent elastic characteristics of cherry wood by means of ultrasound and mechanical tests..... | 20 |
| Pásztory Z., Heinzmann B., Barbu M.-C. Comparison of different stack measuring methods..... | 22 |
| Shapchenkova O.A., Loskutov S.R., Aniskina A.A. Differential scanning calorimetry of wood of coniferous and deciduous tree species..... | 30 |
| Venäläinen M., Heikkonen S., Terziev N., Torniainen P. Durability of Siberian larch timber in Finland – results from 11-year test in ground contact..... | 32 |
| Алаудинова Е.В., Миронов П.В. Водорастворимые вещества меристем <i>Abies sibirica</i> L.: особенности сезонных изменений состава и содержания..... | 36 |
| Алаудинова Е.В., Миронов П.В. Моно- и олигосахариды меристем <i>Abies sibirica</i> L.: особенности сезонного изменения состава и содержания..... | 39 |
| Антонов Г.И., Кондакова О.Э., Иванова О.В. Оптимизация лесовосстановления с использованием биоконверсии отходов лесопромышленного комплекса в условиях Красноярской лесостепи..... | 43 |
| Антонова Г.Ф., Железниченко Т.В., Стасова В.В. Особенности лигнификации ранней и поздней древесины сосны обыкновенной..... | 46 |
| Бажина Е.В., Стасова В.В., Власова А.А. Особенности строения древесины здоровых и усыхающих деревьев пихты сибирской..... | 49 |
| Винокуров С.А., Ершов А.Е., Классен Н.В., Горбачева Г.А., Галкин В.П., Санаев В.Г. Новые применения древесных микроструктур в приборах и устройствах..... | 53 |
| Воронин В.М., Соболева С.В. Изучение биоиндикационной способности сосны обыкновенной (<i>Pinus sylvestris</i>)..... | 56 |
| Горбачев С.А., Шакуров А.В., Горбачева Г.А., Санаев В.Г. Эффект памяти формы древесины при низких температурах..... | 61 |
| Горбачева Г.А., Белковский С.Ю. Трансформация топологической структуры древесины лиственных пород при эффекте памяти формы..... | 64 |
| Гродницкая И.Д., Пашенова Н.В., Кондакова О.Э. Продукты биоконверсии древесных отходов хвойных в биоремедиации деградированных почв..... | 68 |
| Данилов Д.А., Зайцев Д.А. Влияние макростроения ксилемы на плотность древесины сосны и ели в спелых древостоях, не затронутых хозяйственным воздействием..... | 71 |

| | |
|---|-----|
| Ермаков С.А. Связь базисной плотности со средним годичным приростом, процентом поздней древесины и толщиной коры в средневозрастных ельниках на минеральных почвах и на осушенных торфяниках в Калининградской области..... | 76 |
| Ермоченков М.Г. Внутренние источники массы при сушке древесины..... | 80 |
| Иванов А.В. К вопросу о таксономии рода <i>Pseudotsuga</i> | 83 |
| Калинина А.А., Галкин В.П., Санаев В.Г. Коэффициенты усушки древесины при действии растягивающих нагрузок..... | 86 |
| Карпачев С.П., Диев Р.И. Оценка количества и качества древесины естественного отпада..... | 89 |
| Кладько Ю.В., Бенькова В.Е., Скрипальщикова Л.Н. Особенности роста по диаметру стволов древесных растений в условиях Красноярска..... | 93 |
| Классен Н.В., Кудинова А.А., Горбачева Г.А., Санаев В.Г. Особенности электромеханических и фотоэлектрических процессов в живых деревьях..... | 96 |
| Козека Д.В., Звягинцев В.Б., Аринович Е.А., Васько Ю.В. Физико-механические свойства древесины интродуцентов, произрастающих в Беларуси, и перспективы их плантационного выращивания..... | 101 |
| Кондакова О.Э., Гродницкая И.Д., Кузина А.Н., Кротова И.В. Оценка антимикробной активности водных экстрактов коры лиственницы сибирской для возможностей их практического применения..... | 104 |
| Копанина А.В. Структурные адаптации <i>Spiraea beauverdiana</i> (Rosaceae Juss.) в экстремальных условиях..... | 108 |
| Копанина А.В., Тальских А.И., Власова И.И. Особенности строения коры и древесины <i>Betula ermanii</i> (Betulaceae S.F. Gray) в островных экосистемах..... | 111 |
| Котов А.А., Алябьев А.Ф. Исследование остаточных деформаций древесных растений при статическом изгибе..... | 115 |
| Котов А.А., Иванов Г.А. Поперечные колебания полуприподнятого ствола ели в вертикальной плоскости..... | 119 |
| Кузнецова Г.В. Генетическая обусловленность радиального роста у прививок кедровых сосен на клоновой плантации в Красноярской лесостепи..... | 123 |
| Кузьмин С.Р. Особенности древесины у сосны обыкновенной разного происхождения в географических культурах Западной и Средней Сибири..... | 126 |
| Кучер С.В., Хитров Е.Г., Соколова В.А. Разработка уточненной математической модели прессования древесины..... | 130 |
| Левин А.Б., Малинин В.Г., Хроменко А.В., Афанасьев Г.Н. Изменение элементного состава и теплотехнических свойств древесины в процессе нагревания в инертной среде..... | 134 |
| Ломов В.Д. Структура древостоев сосны и анатомическое строение годичных слоев..... | 138 |
| Лоскутов С.Р., Шапченкова О.А., Анискина А.А. Гигроскопические свойства древесины основных лесообразующих пород Средней Сибири..... | 141 |

| | |
|---|-----|
| Маркин В.И., Катраков И.Б., Колосов П.В., Генъш К.В. Комплексная схема использования химически модифицированного растительного сырья в качестве многофункциональных сорбентов..... | 144 |
| Намятов А.В., Баяндин М.А., Казицин С.Н., Ермолин В.Н. Исследование свойств плит малой плотности из механо-активированных древесных частиц без использования связующих веществ..... | 149 |
| Неверов Н.А., Беляев В.В. Вариации макроструктуры древесины ели и сосны в различных геоэкологических условиях Архангельской области..... | 152 |
| Овчинников Д.В., Кладько Ю.В., Овчинников С.Д., Еремина А.Д. Дендрозкологический потенциал параметра <i>BLUE INTENSITY</i> в годичных кольцах хвойных..... | 155 |
| Петрунина Е.А., Лоскутов С.Р., Баяндин М.А., Ермолин В.Н., Миронов П.В. Гидродинамическая обработка древесины: влияние на гигроскопические свойства..... | 158 |
| Петрунина Е.А., Лоскутов С.Р., Миронов П.В. Гидродинамически активированная древесина сосны: термогравиметрия, дифференциальная сканирующая калориметрия..... | 161 |
| Покровская Е.Н., Ковальчук Ю.Л., Портнов Ф.А. Химико-микологическая устойчивость древесины и сохранение памятников деревянного зодчества..... | 165 |
| Полищук Е.Ю., Сивенков А.Б., Анохин Е.А., Кенжехан С.К., Нигматуллина Д.М., Серков Б.Б. Обеспечение комплексной безопасности деревянных конструкций с использованием современных средств и методов огнебиозащиты..... | 168 |
| Пшеничникова Л.С. Влияние густоты экспериментальных посадок на радиальный прирост хвойных культур..... | 171 |
| Рунова Е.М., Серков Д.В. Некоторые особенности формирования древесины в смешанных лесных культурах лиственницы и сосны в Приангарье..... | 174 |
| Семенович А.В., Пермякова Г.В., Шапченкова О.А., Анискина А.А. Перспективные направления переработки коры хвойных пород Сибири..... | 178 |
| Сенашова В.А., Пермякова Г.В., Гродницкая И.Д., Пашенова Н.В., Анискина А.А., Лоскутов С.Р. Ингибирующее влияние экстрактивных веществ хвойных на условно-патогенные микроорганизмы..... | 182 |
| Стасова В.В., Скрипальщикова Л.Н., Барченков А.П. Мониторинг роста антропогенно нарушенных сосновых сообществ Красноярской лесостепи..... | 185 |
| Стрикун В.В., Баяндин М.А., Ермолин В.Н. Получение древесных теплоизоляционных плит с использованием клеев биологического происхождения..... | 189 |
| Тарабанько В.Е., Кайгородов К.Л. Возможности и перспективы создания нового процесса переработки древесины в продукты малотоннажной химической технологии..... | 192 |
| Титунин А.А., Сусоева И.В., Вахнина Т.Н. Влияние циклических температурно-влажностных воздействий на свойства композитов из растительного сырья..... | 196 |

| | |
|---|-----|
| Федюков В.И., Салдаева Е.Ю., Лазарева С.М., Гогогин А.А., Амиров Д.Г., Камаева Н.Е. Дендроакустические показатели древесины интродуцированных кленов как материала для изготовления музыкальных инструментов..... | 200 |
| Федюков В.И., Чернов В.Ю., Чернова М.С., Магальяс Н.А., Цой О.В. Неразрушающий способ для экспресс-диагностики резонансных свойств выдержанной в старых сооружениях древесины..... | 204 |
| Федюков В.И., Чернова М.С., Чернов В.Ю. Колориметрические особенности выдержанной в старых сооружениях древесины..... | 208 |
| Чубинский А.Н., Русаков Д.С., Чубинский М.А., Варанкина Г.С. Влияние строения древесины на качество склеивания..... | 212 |
| Шамаев В.А. Исследование прочности древесины..... | 216 |
| Шамаев В.А. Стандарты в области модифицирования древесины..... | 220 |
| Шашкин А.В., Бенькова В.Е., Машуков Д.А. Влияние локальных гидротермических свойств многолетнемерзлых почв на структуру годичных колец лиственницы Гмелина..... | 222 |
| Шилкина Е.А., Ибе А.А., Шеллер М.А., Сухих Т.В. Использование методов ДНК-анализа в экспертизе незаконного оборота древесины..... | 226 |
| Януш С.Ю., Данилов Д.А. Плотность древесины ели и сосны на постагrogenных землях северо-западного региона России..... | 229 |
| ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ИЗДАНИЕ | |
| Deglise X. Is wood science existing?..... | 239 |
| Астраханцева Н.В., Романова Л.И., Собачкин Д.С. Влияние рубок ухода различной интенсивности на развитие годичного кольца сосны обыкновенной..... | 243 |

Научное издание

СТРОЕНИЕ, СВОЙСТВА И КАЧЕСТВО ДРЕВЕСИНЫ – 2018

Материалы VI Международного симпозиума имени Б.Н. Уголева,
посвященного 50-летию Регионального Координационного совета
по современным проблемам древесиноведения

10–16 сентября 2018 г. Красноярск

Компьютерная верстка И.А. Михайловой
Технический редактор: Т.И. Алешина

Оригинал-макет подготовлен в ИЛ СО РАН

Подписано в печать 30.08.2018 г.
Формат (60x84)1/8 . Усл.-печ. л. 27,8. Тираж 100 экз. Заказ № 172

Издательство СО РАН
630090, Новосибирск, Морской просп., 2
E-mail: psb@sibran.ru
тел. (383) 330-80-50
Отпечатано в Издательстве СО РАН
Интернет-магазин Издательства СО РАН
<http://www.sibran.ru>