

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

Лесной журнал

Научный журнал

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

3/339

2014

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

МЕЛЕХОВ В.И. – гл. редактор, д-р техн. наук, проф. (Россия, Архангельск)
БАБИЧ Н.А. – зам. гл. редактора, д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Архангельск)
БОГОЛИЦЫН К.Г. – зам. гл. редактора, д-р хим. наук, проф. (Россия, Архангельск)
БЕЛЯКОВА Р.В. – отв. секретарь, засл. работник культуры РФ (Россия, Архангельск)

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

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

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА:

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

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF THE RUSSIAN FEDERATION

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

BULLETIN
OF HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTIONS

Lesnoi Zhurnal

(Forestry journal)

Scientific journal

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

3/339

2014

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

EDITORIAL PANEL:

MELEKHOV V.I. – Editor-in-Chief, Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Arkhangelsk)
BABICH N.A. – Deputy Editor-in-Chief, Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Arkhangelsk)
BOGOLITSYN K.G. – Deputy Editor-in-Chief, Doctor of Chemistry, Prof. (Russia, Arkhangelsk)
BELYAKOVA R.V. – Executive Secretary, Honoured Worker of Culture of the Russian Federation (Russia, Arkhangelsk)

MEMBERS OF THE EDITORIAL PANEL:

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

MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:

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



СОДЕРЖАНИЕ

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

<i>В.П. Бобринев, Л.Н. Пак.</i> Агротехника выращивания сеянцев лиственницы Гмелина в Забайкальском крае.....	9
<i>Ф.Н. Дружинин.</i> К применению комплексных рубок.....	17
<i>В.М. Алексеев, А.В. Жигунов, А.С. Бондаренко, Д.С. Бурцев.</i> Интродукция сосны скрученной в условиях Ленинградской области.....	24
<i>Е.А. Рай, Н.В. Бурова, С.И. Слестников.</i> Изменение видового разнообразия фитоценозов после сплошных рубок.....	34
<i>В.В. Костышев.</i> Сравнительный рост культур сосны и лиственницы в типе леса сосняк травяной.....	45
<i>Н.В. Лиханова.</i> Роль растительного опада в формировании лесной подстилки на вырубках ельников средней тайги.....	52
<i>Е.В. Робонен, Н.П. Чернобровкина, Т.Н. Макарова, В.П. Короткий, Ю.Н. Прытков, С.С. Марисов.</i> Накопление L-аргинина в хвое и распределение по кроне сосны обыкновенной при регуляции азотного и борного обеспечения....	67

ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

<i>С.Н. Орловский.</i> Обоснование технологии применения и компоновки тракторного лесопожарного грунтомета.....	79
<i>О.А. Куницкая, И.И. Тихонов, Д.Е. Куницкая, И.В. Григорьев, А.Е. Земцовский.</i> Оптимизация процесса раскряжевки хлыстов на лесоперевалочных базах лесных холдингов при выпилровке сырья для мачтопропиточных заводов...	86

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

<i>А.А. Лукаш.</i> Исследование деформаций в слоистой древесине при ее сжатии разнотолщинной пресс-формой.....	94
<i>В.Ф. Дунаев.</i> Об изменчивости модуля упругости и предела прочности древесины в технологическом цикле.....	106
<i>К.П. Пятикрестовский.</i> Исследование сопоставительных расчетов внецентренно сжатых и сжато-изгибаемых элементов из древесины (по нормам СНиП II-25–80 и по теории сопротивления материалов).....	114

ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

<i>Д.Г. Чухчин, М.С. Брильков, И.А. Хадыко, К.Ю. Терентьев, Е.В. Новожилов.</i> Разработка методики определения ширины целлюлозных волокон.....	125
<i>В.П. Сиваков, М.Ю. Голынский.</i> Физическая сущность процесса образования и обрушения сводов технологической щепы.....	132

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

- В.А. Петринчик, А.С. Царев.* Проблемы использования топливных брикетов в коммунальной теплоэнергетике малых населенных пунктов..... 139

КОНФЕРЕНЦИИ И СОВЕЩАНИЯ

- Б.Н. Уголев.* Сессия РКСД и конференция в Костроме..... 145

КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

- А.И. Кораблев.* Учебное пособие В.И. Мосягина «Цены и ценообразование в лесном комплексе» – настольная книга для студентов и специалистов..... 150

ЮБИЛЕИ

- В.Ф. Ковязин.* К 80-летию юбилею заслуженного деятеля науки профессора А.С. Тихонова..... 153

ПАМЯТИ УЧЕНЫХ

- В.И. Мелехов, Г.Ф. Прокофьев, Р.В. Дерягин.* Юрий Михайлович Стахийев (1934 – 2004 гг.)..... 157



CONTENTS

FORESTRY

<i>V.P. Bobrinev, L.N. Pak.</i> Agricultural Methods of Growing Gmelin Larch Seedlings in the Trans-Baikal Territory.....	9
<i>F.N. Druzhinin.</i> Application of Complex Cutting.....	17
<i>V.M. Alekseev, A.V. Zhigunov, A.S. Bondarenko, D.S. Burtsev.</i> Introduction of <i>Pinus contorta</i> in the Leningrad Region.....	24
<i>E.A. Rai, N.V. Burova, S.I. Slastnikov.</i> Changes in Species Diversity of Plant Communities After Clear-Cutting.....	34
<i>V.V. Kostyshev.</i> Comparative Growth of Artificial Pine and Larch Stands in Herb Pine Forests.....	45
<i>N.V. Likhanova.</i> The Role of Tree Waste in the Litter Layer Formation in Cutting Areas of Middle Taiga Spruce Forests.....	52
<i>E.V. Robonen, N.P. Chernobrovkina, T.N. Makarova, V.P. Korotky, Yu.N. Prytkov, S.S. Marisov.</i> Accumulation of L-Arginine in Scots Pine Needles and Its Distribution over the Crown Under Regulation of Nitrogen and Boron Supply.....	67

WOODEXPLOITATION

<i>S.N. Orlovsky.</i> Technology and Structural Configuration of a Fire-Fighting Soil-Thrower.....	79
<i>O.A. Kunitskaya, I.I. Tikhonov, D.E. Kunitskaya, I.V. Grigoryev, A.E. Zemtsovsky.</i> Optimization of Tree Length Cross-Cutting at Timber-Handling Bases of Forest Holding Companies When Sawing Out Raw Material for Mast-Impregnation Plants.	86

MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOODSCIENCE

<i>A.A. Lukash.</i> The Study of Deformations in Laminated Wood Being Compressed by a Mould with Various Thickness.....	94
<i>V.F. Doumaev.</i> Variability of Young's Modulus and Wood Tensile Strength in the Work Cycle.....	106
<i>K.P. Pyatikrestovsky.</i> Comparative Calculations for Eccentrically Compressed and Compressed-Bent Wooden Components (According to Building Regulations SNIP II-25–80 and to the Theory of Strength of Materials).....	114

CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD

<i>D.G. Chukhchin, M.S. Brilkov, I.A. Khadyko, K.Yu. Terentyev, E.V. Novozhilov.</i> Development of the Method for Determining the Width of Cellulose Fibers.....	125
<i>V.P. Sivakov, M.Yu. Golynsky.</i> The Physics of Chip Arch Formation and Breaking-Down.....	132

SUMMARIES AND EXCHANGE OF TEACHING

- V.A. Petrinchik, A.S. Tsarev.* Use of Biomass Briquettes in the Municipal Heating System of Small Communities..... 139

CONFERENCES AND MEETINGS

- B.N. Ugolev.* Session of the Regional Coordinating Council for Wood Science and Conference in Kostroma..... 145

CRITIQUE AND BIBLIOGRAPHY

- A.I. Korablev, V.I. Mosyagin's* textbook "Prices and Pricing in Forest Industry" – a reference book for students and specialists..... 150

JUBILEES

- V.F. Kovyazin.* To the 80th Anniversary of Honoured Scientist, Professor A.S. Tikhonov 153

TO THE MEMORY OF SPECIALISTS

- V.I. Melekhov, G.F. Prokofyev, R.V. Deryagin.* Yury Mikhailovich Stakhiev (1934–2004)..... 157



УДК 630*232.32

АГРОТЕХНИКА ВЫРАЩИВАНИЯ СЕЯНЦЕВ ЛИСТВЕННИЦЫ ГМЕЛИНА В ЗАБАЙКАЛЬСКОМ КРАЕ

© *В.П. Бобринев, канд. с.-х. наук, вед. науч. сотр.*

Л.Н. Пак, канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр.

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, а/я 521, ул. Недорезова, 16а,
г. Чита, Россия, 672014

E-mail: pak_lar@bk.ru

Изложены результаты исследований по выращиванию сеянцев лиственницы Гмелина (*Lárix gmelinii* Rupr) в Забайкальском крае. Установлены оптимальные способы подготовки семян к посеву путем снегования в течение 2 мес. с обязательным протравливанием перед посевом в 1%-м растворе марганцовокислого калия в течение 3 ч. Хорошие результаты получены при посеве семян в середине мая в посевные строчки шириной 5...6 см. Норма высева на 1 погонный метр строчки – 0,4 г, направление посевных строчек – с севера на юг. В засушливые годы хорошо сохраняются всходы при мульчировании опилками толщиной до 0,5 см и регулярных (через 4–5 дн.) поливах с нормой 100...120 м³/га. Для получения планового выхода стандартных сеянцев необходимо вносить органические и минеральные удобрения с учетом химического анализа почвы питомника.

Разработанная агротехника выращивания сеянцев лиственницы Гмелина позволила отказаться от дорогостоящего отенения посевов, сэкономить 10...14 кг/га семян и увеличить выход 2-летних стандартных сеянцев на 40...50 %.

Ключевые слова: Забайкальский край, агротехника, сеянцы, лиственница Гмелина.

Лиственница Гмелина (*Lárix gmelinii* Rupr) в Забайкальском крае занимает господствующее положение (57,0 % от общей площади лесов – 15,337 млн га). На западе края она граничит с лиственницей сибирской (*Lárix sibirica* Ledeb). На их стыке образуется гибрид – лиственница Чекановского (*Lárix czekanowskii* Srafer), уходящий на восток до юга Камчатки. На севере образует границу леса с тундрой, на юге произрастает в степной зоне. Произрастает на болотах, высоко в горах, переносит небольшое засоление почвы. На плодородных почвах растет по I бонитету, на болотах и на границе с гольцами – низкорослое дерево.

В Забайкальском крае климат резко континентальный, с большими перепадами температур весной: от –20 °С ночью до +20 °С и более днем. Осадков весной (май, июнь) выпадает мало (до 50...60 мм), в это время наступает атмосферная засуха, относительная влажность воздуха опускается до 15...20 %, регулярно наблюдаются поздние весенние (до 20 июня) и раннее осеннее

(15–18 августа) заморозки. В этих условиях попытки выращивания сеянцев лиственницы Гмелина по общепринятой агротехнике, без учета климатических условий Забайкальского края, на лесных питомниках были неудачными.

Семена у лиственницы Гмелина мелкие, масса 1000 шт. семян составляет 3,1...3,3 г. Они сохраняют всхожесть 1-2 года, прорастают семена на вырубках и гарях на 18–22-й день. Грунтовая всхожесть семян 40...60 %. Всходы имеют 6...8 семядолей, у плюсовых деревьев – 8...11 семядолей. Созревание семян происходит в августе, выпадают из шишек в течение года. Поздно выпавшие семена имеют низкую всхожесть.

Проведенные обследования выращивания лиственницы в крае показали, что посевам требует регулярных поливов, плохо переносят иссушение почвы весной, семена имеют низкую грунтовую всхожесть (40 %), плохо переносят высокие температуры почвы. Для получения планового выхода двухлетних стандартных сеянцев (800 тыс. шт./га) необходимо повышать грунтовую всхожесть и проводить подкормки минеральными удобрениями.

Наши исследования проведены на поливном питомнике Черновского участкового лесничества (бывший Читинский лесхоз), в 40 км от г. Читы. Почвы питомника слабоподзоленные, супесчаные. Степень обеспеченности азотом, фосфором очень низкая, калием – средняя; реакция среды нейтральная (рН 6,0). Были использованы различные способы предпосевной обработки семян лиственницы Гмелина: намачивание семян в течение 18 ч в 0,02 %-м растворе микроэлементов (медь); снегование; намачивание в течение 18 ч в дистиллированной воде.

Из-за небольшого снежного покрова снегование проводили в ящиках. В начале марта в ящик на слой снега высотой 10 см укладывали в марлевых мешочках семена слоем 5...6 см, которые предварительно замачивали в дистиллированной воде на 18 ч при комнатной температуре. Сверху и с боков мешочки засыпали слоем снега 10...15 см. Ящик с семенами помещали в хранилище с температурой 0...3 °С. Перед посевом семена протравливали в 1 %-м растворе марганцовокислого калия в течение 3 ч, промывали в чистой воде, подсушивали в тени до степени хорошей сыпучести и высевали.

Оптимальные результаты были получены при использовании первых двух способов.

Семена высевали в три срока: весной (I декада мая), летом (III декада июня, перед началом выпадения летних дождей), осенью (III декада сентября – свежесобранными семенами). Посев семян осуществляли в узкие (2 см) и широкие (6 см) бороздки. Испытывали различные нормы высева семян (0,2; 0,4; 0,6 г на 1 погонный метр строчки) и глубину посева (1,0; 1,5; 2,0 см). Изучали влияние направления посевных строчек с севера на юг и с запада на восток, а также мульчирования разным материалом (опилки, земля, торф толщиной 0,5...1,0 см). Полив проводили через 3, 5, 7 дней из расчета 5, 10, 15, 20 л на 1 погонный метр ленты (1 м² посевов) или 50, 100, 150, 200 м³/га. В каждом варианте у 50 сеянцев измеряли в четырех повторностях длину надземной части и корней, опреде-

ляли выход стандартных сеянцев. Для продления вегетационного периода за счет повышения температуры почвы однолетние сеянцы лиственницы мульчировали торфом толщиной 0,5 см (см. таблицу).

Намачивание семян в растворах микроэлементов повышает грунтовую всхожесть на 30...40 %, при снеговании грунтовая всхожесть увеличивается на 40...50 %. Всходы семян, обработанных этими способами, появляются на 6–8 дней раньше, чем у семян, намоченных в дистиллированной воде. Повышение грунтовой всхожести очень важно в условиях засушливого лета и короткого вегетационного периода. Норма высева семян лиственницы Гмелина при такой подготовке семян к посеву снижается на 10...14 кг/га [5].

**Влияние агротехнических приемов
на рост двухлетних сеянцев лиственницы Гмелина**

Агротехнические приемы выращивания сеянцев	Длина ($M \pm m$), см		Выход стандартных двухлетних сеянцев, млн шт./га
	стебля	корня	
Способ подготовки семян:			
намачивание в микроэлементах	30,3 ± 1,1	20,4 ± 0,7	0,9
снегование	30,4 ± 1,1	20,5 ± 0,7	1,1
намачивание в дистиллированной воде	30,8 ± 1,1	20,3 ± 0,7	0,6
Ширина посевной строки, см:			
2	26,9 ± 1,0	20,1 ± 0,7	0,4
4	30,0 ± 1,1	20,6 ± 0,6	0,6
6	31,5 ± 1,2	21,5 ± 0,7	0,9
Сроки посева семян:			
весна	29,6 ± 1,0	20,4 ± 0,8	1,0
лето	24,3 ± 1,1	19,1 ± 0,6	0,4
осень	31,8 ± 1,2	20,7 ± 0,8	0,6
Норма посева семян на 1 погонный метр строчки, г:			
0,2	27,6 ± 1,0	20,1 ± 0,8	0,7
0,4	39,1 ± 1,0	20,9 ± 0,6	0,9
0,6	20,4 ± 0,8	20,3 ± 0,6	0,7
Глубина посева семян, см:			
1,0	24,3 ± 1,0	20,2 ± 0,6	0,6
1,5	29,5 ± 1,1	21,1 ± 0,7	1,1
2,0	26,0 ± 1,0	20,3 ± 0,6	0,8
Направление посевных борозд:			
север – юг	31,7 ± 1,1	20,8 ± 0,7	1,5
восток – запад	26,5 ± 1,0	20,3 ± 0,7	0,7
Мульчирование посевов:			
опилки	30,6 ± 1,1	20,9 ± 0,7	1,1
почва	27,3 ± 1,0	20,4 ± 0,8	0,6
торф	29,8 ± 1,0	20,1 ± 0,6	0,8

Анализ результатов показал хорошую грунтовую всхожесть при широкострочных посевах (6 см). Всходы при широкострочных посевах поднимают почву вместе с опилками, которая при поливе оседает между всходами. При узкострочных посевах они образуют в почве двухскатный бугорок, с которого опилки смываются, а вода при поливе стекает. При этом скаты бугорка не увлажняются, днем они сильно нагреваются на солнце, и нежные всходы, соприкасаясь с ними, погибают [4].

Сравнение вариантов по срокам посева показало, что сеянцы летних посевов не успевают закончить рост и подготовиться к зиме, поэтому в зимний период их верхняя не одревесневшая часть повреждается морозами и большими перепадами температур. Осенние посевы не дают всходов в текущем году. Значительная часть набухших и наклюнувшихся семян за зиму вымерзает, оставшаяся часть начинает прорастать в апреле, в начале мая появляются редкие всходы и то при условии своевременных поливов, которые сложно осуществить из-за морозов. Поэтому осенние посевы в местных условиях проводить нецелесообразно. У ранних весенних посевов всходы повреждаются поздними весенними заморозками. Таким образом, оптимальный срок посева в местных условиях – вторая декада мая при условии прогревания верхнего (15...20 см) слоя почвы до температуры 8...10 °С. В это время появляются ранние дружные всходы, к началу наступления высоких температур они успевают окрепнуть, в первый год выращивания имеют продолжительный срок развития, характеризуются высокой сохранностью сеянцев при перезимовке.

Семена у лиственницы Гмелина мелкие. Из всех проведенных вариантов по норме посева семян выделяется второй вариант (0,4 г или 80...90 шт. на 1 погонный метр строчки). При этом выход стандартных двухлетних сеянцев составляет 980 тыс. шт./га (при плановом 800 тыс. шт./га). В середине лета (в период дождей), если загущены посевы, нужно проводить их изреживание, оставляя на 1 погонном метре строчки 60...70 сеянцев. Уменьшение нормы посева (0,02 г) снижает выход двухлетнего стандартного посадочного материала, при этом сеянцы в изреженных посевах очень сильно кустятся за счет боковых побегов. Увеличение нормы посева семян (0,6 г или 180...200 шт. на 1 погонный метр строчки) увеличивает расход семян и снижается выход двухлетних стандартных сеянцев.

При изучении влияния глубины заделки семян на их грунтовую всхожесть обнаружена следующая закономерность: чем глубже семена высеваются в почву, тем ниже их грунтовая всхожесть. Неглубокие посевы семян приводят к их смыву во время полива или сильных дождей. Поэтому из указанных в таблице вариантов выбрана оптимальная глубина посева 1,5 см. В этом варианте появляются дружные и равномерно распределенные в строчке всходы.

Эксперимент по изучению направления посевных строчек показал, что в строчках, расположенных в направлении с севера на юг, сеянцы хорошо развиваются, в полдень они оттеняют друг друга, меньше повреждаются при перезимовке. Сеянцы в строчках, расположенных в направлении с востока на запад, полностью освещаются в полдень, начиная от корневой шейки и до верхушечной почки, подвергаются ожогу и иссушению ранней весной.

Мульчирование считается одним из видов ухода за сеянцами. Его проводили для предохранения верхнего слоя почвы от выдувания, иссушения, уплотнения при поливах. Мульчирование опилками в жаркое время суток снижает температуру поверхности почвы и предохраняет молодые всходы от ожогов. Мульчирование торфом повышает температуру поверхности почвы и увеличивает ее влажность. Например, при отсутствии мульчирования верхний слой почвы высыхал за 2–3 дня после полива на глубину заделки семян, при мульчировании опилками – на 4–5-й день. При резких ночных похолоданиях мульчирование опилками снижает температуру верхнего слоя почвы на 3...4 °С, так как светлая поверхность меньше нагревается, чем темный торф, что для ранних посевов является очень важным мероприятием по сохранению сеянцев от заморозков. Были получены неплохие результаты при использовании для весенних посевов семян в первой декаде мая торфа, после появления всходов – опилок. Во всех случаях толщина мульчирующего слоя составляла не более 1 см. Указанные мульчирующие материалы лучше предохраняют почву от иссушения и ожога корневой шейки сеянцев. Предложено для местных условий в августе проводить мульчирование торфом. Такой прием продляет вегетационный период, закаляет однолетние сеянцы перед суровой зимой.

В условиях Забайкалья полив на питомниках является необходимым приемом, без которого невозможно выращивание посадочного материала. На основании проведенных нами исследований по нормам и срокам полива все поливы сеянцев первого года выращивания в зависимости от их роста можно разделить на три периода: первый – посев и появление массовых всходов; второй – формирование и завершение роста посадочного материала; третий – подготовка к зиме.

В первый засушливый период при увеличении нормы полива наблюдается смывание мульчирующего слоя, вымывание или вымывание семян, снижается температура поверхности почвы. Недостаточное увлажнение почвы в это время приводит к гибели сеянцев. Оптимальная норма полива в этот период – 80...100 м³/га через каждые 2–3 дня.

Во второй период, приходящийся на засушливый июнь, оптимальная норма полива составила 100...120 м³/га через 4–5 дней. В эти два периода нужно использовать только теплую воду температурой 18...20 °С. Использование холодной воды (8...12 °С) в эти периоды нежелательно, поскольку сеянцы повреждаются от резких перепадов температур. Полив в вечернее время теплой водой снижает почвенную и атмосферную засуху, создает оптимальный микроклимат для роста и развития сеянцев. Ночью температура воздуха и почвы повышается на 2...4 °С, влажность воздуха – на 15...20 %.

В третий период (оптимальная норма полива 150 м³/га через 7–8 дней) срок и норма полива меняются в зависимости от естественного увлажнения. Важно не давать пересыхать почве на глубине 1...2 см, иначе происходит засекание молодых всходов песком. При регулярном выпадении осадков поливы переносят или вообще их не проводят.

Иногда после схода снега в марте–апреле на паровых полях почва сильно пересыхает на глубину 5 см. Посев в сухую почву отрицательно влияет на грунтовую всхожесть уже намоченных семян. Поэтому полив на паровом поле нужно проводить за 5–7 дней до посева семян из расчета 150...170 м³/га в два приема.

На второй год выращивания сеянцев рост в высоту начинается в начале второй декады мая и заканчивается в первой половине августа. В этот период потребность сеянцев во влаге большая, а осадков выпадает недостаточно, и они не регулярные. Оптимальная норма полива до 150 м³/га в неделю.

В посевном отделении проводили влагозарядковые поливы в конце сентября, за две недели до устойчивых заморозков. Такие поливы улучшают сохранность однолетних сеянцев. Норма полива зависит от влажности почвы и составляет от 150 до 200 м³/га. Поливы проводили в два приема.

Разработанная агротехника выращивания сеянцев лиственницы с учетом направления посевных борозд с севера на юг, мульчирования посевов опилками весной и проведения регулярных поливов позволяет вырастить сеянцы в экстремальных условиях без отенения.

В условиях Забайкалья для получения планового выхода стандартных сеянцев лиственницы Гмелина применяли минеральные и органические удобрения. В посевном отделении применяли севооборот из двух звеньев. В первом звене на поле перед парованием осенью (первое звено севооборота) вносили 60 т торфа на 1 га и в течение лета содержали его в черном пару. Во втором звене поле занимали сидеральным паром, высевали 120 кг гороха и 60 кг овса на 1 га на глубину 3 см. В период цветения (конец июля – начало августа) сидераты прикатывали дисковыми боронами и запахивали плугом с предплужником. Таким образом, почва постоянно содержала 4...5 % гумуса. В первом и втором звеньях севооборота почва освобождалась от сорняков и обогащалась гумусом.

В первый год хорошо росли сеянцы лиственницы при внесении следующих удобрений: фосфорные (80 кг/га) в качестве основного удобрения при зяблевой вспашке; подкормка азотными удобрениями (60 кг/га) в июле; фосфорные (40 кг/га) и калийные (20 кг/га) в августе (нормы удобрений приводятся по действующему веществу).

Во второй год выращивания сеянцы хорошо росли при подкормке следующими удобрениями: ранней весной азотные (60 кг/га) и фосфорные (40 кг/га); в июле – фосфорные (40 кг/га) и калийные (20 кг/га). При такой подкормке высота сеянцев увеличивается на 70...80 %, их масса – в 3 раза, выход двухлетних стандартных сеянцев – на 140...150 % к плановому.

Стандартных двухлетних сеянцев на контрольном участке (без внесения и удобрений) было 70...80 % от планового выхода.

В условиях Забайкалья при оттаивании почвы на 8...10 см в конце апреля у лиственницы Гмелина на питомнике начинают распускаться почки. Посадка лесных культур с распутившимися почками дает большой отпад.

Поэтому целесообразны осенняя выкопка сеянцев и зимнее их хранение в специальном зимнем хранилище при температуре ± 1 °С. Для проведения лесокультурных работ сеянцы из хранилища можно брать в любое время [3].

Таким образом, сеянцы лиственницы Гмелина на удобренном органическими и минеральными удобрениями фоне хорошо растут в высоту и имеют хорошо развитую корневую систему. Широкострочные посевы, мульчирование, расположение посевных строк с севера на юг и поливы посевов позволили отказаться от дорогостоящего оттенения. Все это увеличило выход двухлетних стандартных сеянцев с единицы площади и снизило расход семян и себестоимость их выращивания, повысило приживаемость лесных культур и качество древесины [1, 2, 6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабич Н.А., Гаевский Н.П., Конюшатов О.А. Культуры ели Вологодской области. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2008. 160 с.
2. Бабич Н.А. Фитомасса культур сосны и ели в Европейской части России. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2004. 112 с.
3. Бобринев В.П. Зимнее хранение сеянцев в хранилище. М.: ЦБНТИ, 1974. С. 11, 12.
4. Бобринев В.П., Пак Л.Н. Лесные стационарные исследования в Забайкальском крае. Чита: Изд-во «Поиск», 2011. 492 с.
5. Бобринев В.П. Ускоренное выращивание древесных пород. Новосибирск: Наука, 1987. 191 с.
6. Мелехов В.И., Корчагов С.А., Бабич Н.А. Комплексная оценка качества древесины хвойных пород в культурах. Архангельск: ИПЦ САФУ, 2013. 130 с.

Поступила 26.03.12

Agricultural Methods of Growing Gmelin Larch Seedlings in the Trans-Baikal Territory

V.P. Bobrinev, Candidate of Agriculture, Senior Researcher
L.N. Pak, Candidate of Agriculture, Senior Researcher

Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, ul. Nedorezova, 16a, box 521, Chita, 672014, Russia
E-mail: pak_lar@bk.ru

The paper presents the results of the studies on growing Gmelin larch seedlings (*Lárix gmelinii* Rupr) in the Trans-Baikal Territory. We have established that the best way to prepare the seeds for sowing is keeping them under the snow for 2 months and necessarily treating them with a 1 % potassium permanganate solution for 3 hours before sowing. Good results are obtained at sowing the seeds in mid-May in 5–6 cm wide sowing lines. The seeding rate is 0.4 g per running meter and the direction of the sowing lines is north-to-south. In dry years, shoots are well preserved if mulched with sawdust up to 0.5 cm thick

and regularly (each 4–5 days) watered by 100–120 m³/ha. To receive the planned yield of standard seedlings one needs to introduce organic and mineral fertilizers based on the chemical analysis of soil in the nursery. The developed agricultural method of growing Gmelin larch seedlings allowed us to give up the expensive shading of crops, save 10–14 kg/ha of seeds and increase the yield of two-year standard seedlings by 40–50 %.

Keywords: Trans-Baikal Territory, agricultural method, seedlings, Gmelin larch.

REFERENCES

1. Babich N.A., Gaevskiy N.P., Konyushatov O.A. *Kul'tury eli Vologodskoy oblasti* [Spruce Cultures of the Vologda Region]. Arkhangelsk, 2008. 160 p.
 2. Babich N.A. *Fitomassa kul'tur sosny i eli v Evropeyskoy chasti Rossii* [Phytomass of Pine and Spruce Cultures in the European Part of Russia]. Arkhangelsk, 2004. 112 p.
 3. Bobrinev V.P. *Zimnee khranenie seyantsev v khranilishche* [Winter Storage of Seedlings in a Storehouse]. Moscow, no. 7, p. 11, 12.
 4. Bobrinev V.P., Pak L.N. *Lesnye statsionarnye issledovaniya v Zabaykal'skom krae* [Stationary Research in the Forests of the Trans-Baikal Territory]. Chita, 2011. 492 p.
 5. Bobrinev V.P. *Uskorennoe vyrashchivanie drevesnykh porod* [Accelerated Growing of Wood Species]. Novosibirsk, 1987. 191 p.
 6. Melekhov V.I., Korchagov S.A., Babich N.A. *Kompleksnaya otsenka kachestva drevesiny khvoynykh porod v kul'turakh* [Comprehensive Assessment of Softwood Quality in Artificial Stands]. Arkhangelsk, 2013. 130 p.
-

УДК 630*221

К ПРИМЕНЕНИЮ КОМПЛЕКСНЫХ РУБОК

© *Ф.Н. Дружинин, канд. с.-х. наук, доц.*

Вологодская государственная молочнохозяйственная академия им. Н.В. Верещагина,
ул. Шмидта, 2, г. Вологда, Россия, 160555
E-mail: drujinin@mail.ru

Лесные пожары в первой половине XX в. и масштабные сплошные рубки во второй половине прошлого века в хвойных лесах привели к сокращению их площадей более чем на четверть. Сформировавшиеся на месте хвойных фитоценозов вторичные лиственные насаждения занимают сейчас в Вологодской области около 50 % общей площади лесов.

Объектом исследования являлись формирующиеся ельники из предварительного возобновления на специально заложённом стационаре с проведением сплошной рубки господствующего лиственного яруса древостоя и выполнением ухода за еловым элементом леса с вариантами сохранения подроста в количестве от 1,5; 3,0; 4,5 и 6,0 тыс. экз./га. Определение лесоводственной эффективности комплексных рубок с одновременным выполнением элементов по заготовке лиственной древесины и проведению прореживаний подроста с разной интенсивностью, составляющих элемент рубок ухода, ставилось в задачу исследования.

Выполнение полевых лесочетных работ и обработка экспериментального материала осуществлялись в соответствии с общепризнанными в таксации и лесоводстве методами.

По результатам регулярных наблюдений практически не выявлено отпада ели после рубок в каждом из четырех вариантов. Рост ели характеризуется I классом текущего бонитета. За 8-летний период после рубки энергия роста при сохранении 1,5 тыс. экз./га подроста ели возросла в 3,9 раза. В этом варианте и за весь 27-летний период сохранились наиболее высокие темпы роста в высоту и по диаметру. По мере увеличения количества сохраняемого подроста после прореживания (3,0; 4,5 и 6,0 тыс. экз./га) радиальный прирост снижается. Различия прироста в высоту менее существенны.

По результатам исследования обоснована эффективность применения комплексных рубок в лиственных насаждениях. Полная уборка господствующего лиственного яруса древостоя и одновременное прореживание елового подроста позволяют обеспечить стабилизацию и улучшение структуры лесного фонда. Для комплексных рубок пригодны лиственные насаждения с наличием елового подроста. При этом ежегодный прирост в высоту у подроста ели перед рубкой должен составлять не менее 10...15 см, а возраст доминирующей части не должен превышать 30...35 лет.

Ключевые слова: комплексные рубки, вторичные леса, лесоводственная эффективность, морфологическая структура древостоя, подрост ели, энергия роста.

Обширные лесные пожары в первой половине XX в. (1905, 1922–1927, 1936–1938 гг.) и масштабные сплошные рубки во второй половине прошлого века в хвойных лесах привели к тому, что их площадь сократилась более чем

на 25 %. На месте хвойных фитоценозов сформировались вторичные лиственные насаждения, занимающие в настоящее время около 52 % от общей площади лесов Вологодской области.

Последующий естественный процесс смены лиственных насаждений на еловые составляет по разным оценкам от 100...160 [1, 9] до 180...270 лет [13]. Для его ускорения необходимы целенаправленные лесохозяйственные мероприятия, так как эксплуатационный фонд лиственных насаждений постоянно увеличивается и в ближайшие годы составит в регионе около 3 млн га. С течением времени товарность лиственной древесины снижается, состояние насаждений ухудшается. По мере старения подпоголовая ель постепенно утрачивает способность к формированию хвойных древостоев за счет естественного лесообразовательного процесса. Все это требует неотложных мер по целенаправленной интенсификации освоения лиственных насаждений для восстановления темнохвойных формаций.

Ранее действующими и настоящими документами [3, 5–7] не предусмотрен такой вид рубок, как комплексные. Связано это с отсутствием достаточного их научного обоснования и нормативного обеспечения. В научных публикациях [8, 9, 12, 14] оговариваются особенности производства комплексных рубок, предусматривающих одновременное выполнение на одном и том же участке леса элементов рубок по заготовке спелой и перестойной древесины и рубок ухода. Такое определение первоначально дано И.С. Мелеховым [2]. По его мнению, примером комплексной рубки может служить рубка в двухъярусном древостое из осины и березы (верхний ярус) и молодой ели (нижний ярус). Удаление осины или березы означает заготовку спелой древесины, по отношению же к ели – рубку ухода. Выполнение функций рубки ухода, как указывает А.Д. Серяков [10], проявляется через осветление ели и ослабление корневой конкуренции со стороны лиственных пород.

В качестве объектов комплексных рубок рассматривались не только двухъярусные, но и смешанные из этих же пород древостои более сложного возрастного и морфологического строения. Комплексные рубки в них рекомендуется проводить путем вырубki некоторых спелых и перестойных деревьев с одновременным уходом за молодыми, средневозрастными и приспевающими деревьями. Рубка включала одновременно приемы рубок ухода и выборочных рубок. Отбору подлежали деревья плохого качества или мешающие росту лучших, перспективных, отобранных для доращивания.

Исходя из этого добровольно-выборочная рубка одновременно может быть и комплексной. Однако нельзя выборочную и постепенную рубку называть комплексной, если в молодой части древостоя срубили поврежденные при валке деревья, оправили подрост, срубили деревца для подкладок. Только при запланированной и существенной рубке ухода за молодой частью насаждения, проводимой одновременно с заготовкой спелой и перестойной древесины, можно применять термин «комплексная рубка».

По нашему мнению, к статусу комплексных рубок можно относить рубки переформирования (РПФ) и длительно-постепенные рубки (ДПР), если одновременно с интенсивной выборкой листовенного полога (элементы заготовки спелой и перестойной древесины) выполняются элементы основных (прочистки, прореживания или проходные) и (или) специализированных (обрезка сучьев и ветвей) рубок ухода. При этом после лесосечных работ должно обеспечиваться преобладание в составе древостоя хвойных пород, позволяющих осуществлять перевод листовенных насаждений в хвойные с высокой их устойчивостью сразу же после рубок.

Исследования применительно к рассматриваемому вопросу выполнялись на стационарном объекте, заложенном Вологодской региональной лабораторией Северного НИИ лесного хозяйства в Сокольском государственном лесничестве (кв. 1, 2 Двиницкого участкового лесничества). Для закладки опытов был отведен участок в березняке черничном. Возраст до рубки: береза – 45 лет, подрост ели – 35 лет. Год закладки стационарного объекта и выполнения на нем лесосечных работ (элементы рубок при заготовке спелой и перестойной древесины) – зима 1979–1980 гг. с доочисткой мест рубок и изреживанием подроста (элементы рубок ухода – прореживание) в летнее время (июнь-июль).

Лесосечные работы выполнены силами Кадниковского лесхоза (в настоящее время Сокольское государственное лесничество) с использованием бензиномоторных пил и трактора ТДТ-55. Полная очистка лесосеки выполнена сбором порубочных остатков в кучи на свободных от подроста пространствах с последующим их сжиганием.

Повреждаемость подроста после сплошной рубки листовенных пород на всех делянках не превышала 20...25 %. Основными повреждениями являлись ошмыг кроны, облом вершинок, частичный обрыв корневых систем. При регулировании густоты подроста в соответствии с намеченными вариантами (I – 1,5; II – 3,0; III – 4,5; V – 6,0 тыс. экз./га) уборке, в первую очередь, подлежали поврежденные особи, имеющие слабо развитую однобокую крону, характеризующиеся ослабленным жизненным состоянием. При этом обеспечивалось равномерное размещение подроста по площади, однако его численность несколько отличалась от планируемой (табл. 1).

Полевые лесочетные работы выполняли по общепризнанным методикам [4, 11], тип леса устанавливали по типологии В.Н. Сукачева [11] с учетом принятой для условий Европейского Севера схемы. Обработку экспериментального материала, включающую морфологическую структуру древостоев, характеризующую породный состав, размерность (высота, диаметр), возраст, горизонтальную (густота, полнота) и вертикальную (положение деревьев в пологе) дифференциации, производительность (бонитет, запас), энергию роста, осуществляли в соответствии с общепризнанными в таксации и лесоводстве методами.

Таксационная характеристика древостоев на объектах исследования

Вариант опыта	Год учета	Давность, рубки, лет	Средние по древостою		Высота, м	Количество подростов, экз./га	Полнота относительная	Класс бонитета	Запас, м ³ /га
			Возраст, лет	Диаметр, см					
I	1979	0	35	2,2	1,8	1570	0,6	0,11	1
	1987	8	45	7,5	5,8	1520	6,7	0,49	26
	2006	27	62	14,7	15,8	1650	29,6	1,00	234
II	1979	0	35	0,8	1,5	3050	0,2	0,05	1
	1987	8	45	5,7	5,0	2670	6,8	0,55	23
III	2006	27	62	12,4	14,5	2230	27,0	1,00	201(6)
	1979	0	35	1,2	1,7	4260	0,5	0,07	1
	1987	8	45	5,2	4,6	4160	8,8	0,74	28
IV	2006	27	62	10,3	12,7	3220	27,9	1,14	183(3)
	1979	0	35	1,0	1,6	6040	0,05	0,10	1
	1987	8	45	5,6	5,1	5790	14,1	1,11	47
Контроль	2006	27	62	10,0	12,5	4970	39,2	1,61	259(2)
	1979	0	45	14,5	16,5	1390	22,8	1,00	173
	1979	0	35	1,1	1,7	7940	0,8	0,18	4
	1987	8	45	2,9	2,8	7420	4,9	0,60	12

По результатам регулярных наблюдений практически не выявлено отпада ели после рубок. При меньшем количестве оставленной на последующее выращивание ели отмечено увеличение ее количества за счет перехода самосева в группу подростов. Если исключить период адаптации (1...2 года), то рост ели характеризуется I классом текущего бонитета. Однако рассматриваемые ельники при календарном возрасте 45 лет и средней высоте 4,6 и 5,8 м по бонитировочной шкале М.М. Орлова соответствуют V классу бонитета. Коренной ельник до формирования березняков характеризовался III классом бонитета.

Ель при густоте 1,5 тыс. экз./га (вариант опыта I) быстрее, чем в других вариантах, формирует коренной тип леса и отличается более крупными габаритами деревьев и большей продолжительностью увеличения прироста в высоту. Для сравнения в других опытах (3,0; 4,5 и 6,0 тыс. экз./га) энергия роста менее выражена, средние таксационные показатели древостоя (диаметр и высота) ниже. Более наглядно это видно при переходе производства перечета древостоев с высотной градации на диаметры через 10 лет после рубок (см. таблицу).

После рубки различие в средней высоте по вариантам опыта не превышало 12 % (вариант I – 1,5 тыс. экз./га; II – 3,0 тыс. экз./га), в вариантах III и IV с сохранением 4,5 и 6,0 экз./га – около 6 %. Исходя из этого была обеспечена высокая репрезентативность исходных данных.

За 8-летний период после рубки в варианте с сохранением 1,5 экз./га (вариант опыта I) энергия роста подростов

ели возросла в 3,9 раза. За 27-летний период наиболее высокие темпы роста сохранились в вариантах с изреживанием подроста до 1,5 и 3,0 тыс. экз./га. При сохранении подроста ели в количестве 4,5 и 6,0 тыс. экз./га последующая энергия роста, по сравнению с предыдущими вариантами, была ниже. Здесь уже проявилось выраженное внутривидовое влияние.

В отношении прироста по диаметру между вариантами опытов выявлено следующее. В варианте I (до 1,5 тыс. экз./га) средний диаметр в 2,8 раза выше, чем в варианте II, а в вариантах III и IV – в 1,8 и 2,2 раза соответственно. Связано это с тем, что для дальнейшего лесовыращивания сохранялись лучшие экземпляры ели.

В последующем наибольший прирост по диаметру зафиксирован в варианте II (3,0 тыс. экз./га), он увеличился в 7,1 раза. В других вариантах этот показатель увеличивался в 3,4 раза (вариант I – 1,5 тыс. экз./га), 4,3 раза (вариант III – 4,5 тыс. экз./га) и 5,6 раза (вариант IV – 6,0 тыс. экз./га). К моменту последних лесоучетных работ энергия роста выровнялась и к 2008 г. возросла по отношению к 1987 г. в 1,8–2,2 раза. В варианте II (3,0 тыс. экз./га) темпы роста характеризовались более высокими (в 2,2 раза) показателями.

В отношении накопления запаса выявлено следующее. Из-за различий запаса, связанных с начальным количеством ели, его накопление через 8 лет с более высоким показателем отмечено в вариантах IV (6,0 тыс. экз./га) и III (4,5 тыс. экз./га). Близкие величины (26 м³/га и 23 м³/га) получены по вариантам I (1,5 тыс. экз./га) и II (3,0 тыс. экз./га). Однако средние значения высоты и диаметра выше в первых двух вариантах. Различия в количестве ели на единицу площади указывают на более высокий запас стволовой древесины.

Таким образом, комплексные рубки, выполненные со сплошной рубкой листового полога и одновременным прореживанием подроста ели, являются эффективным лесохозяйственным мероприятием по восстановлению коренных ельников на месте сформировавшихся вторичных березняков. Высокая эффективность обеспечена благодаря тому, что компонентом древостоя в листовом насаждении являлся подрост ели с высокой его обеспеченностью и возрастом до 35 лет.

При сплошной рубке господствующего яруса и прореживании имеющегося подроста выгодно характеризуются варианты с обеспечением количественного состава подроста в пределах 1,5...3,0 тыс. экз./га. Развитие и формирование коренного ельника в этом случае протекает успешнее с более значимым повышением таксационных показателей древостоя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грязькин А.В. Возобновительный потенциал таежных лесов. СПб.: СПбГЛТА, 2001. 188 с.
2. Мелехов И.С. Рубки главного пользования. М.: Лесн. пром-сть, 1962. 330 с.
3. Наставление по рубкам ухода в равнинных лесах европейской части России. М.: ВНИИЦлесресурс, 1994. 190 с.

4. ОСТ 56-69–83. Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки. Введ. 01.01.1984. М.: Изд-во стандартов, 1983. 10 с.
5. Правила рубок главного пользования в равнинных лесах европейской части РФ. М.: ВНИИЦлесресурс, 1994. 32 с.
6. Правила заготовки древесины: приказ № 184 МПР РФ от 16.07.07. М., 2007. 18 с.
7. Правила ухода за лесами: приказ № 185 МПР РФ от 16.07.07. М., 2007. 43 с.
8. Сеннов С.Н. Лесоведение и лесоводство. М.: Изд-во «Академия», 2006. 234 с.
9. Сеннов С.Н. Рубки ухода за лесами. М.: Лесн. пром-сть, 1977. 160 с.
10. Серяков А.Д., Ильюшенко А.Ф. Реакция тонкомера ели на разреживание мягколиственных пород // Лесоведение. 1986. № 5. С. 25–29.
11. Сукачев В.Н. Динамика лесных биогеоценозов // Основы лесной биогеоценологии. М.; Л.: Наука, 1964. С. 5–49.
12. Тихонов А.С. Лесоводственные основы различных способов рубки леса для возобновления ели. Л.: Лесн. пром-сть, 1979. 248 с.
13. Чмыр А.Ф. Биологические основы восстановления еловых лесов южной тайги. Л.: Нева, 1977. 160 с.
14. Чупров Н.П., Войнов Г.С. Рекомендации по ведению хозяйства в лиственнично-еловых лесах Севера. Архангельск: СевНИИЛХ, 1979. 31 с.

Поступила 17.01.12

Application of Complex Cutting

F.N. Druzhinin, Candidate of Agriculture, Associate Professor

Vologda State Dairy Farming Academy by N.V. Vereshchagin, Shmidta, 2,

Vologda, 160555, Russia

E-mail: drujinin@mail.ru

Forest fires in the first half of the 20th century as well as large-scale clear-cuttings in the second half of the last century in spruce forests reduced their area for more than a quarter. In place of spruce phytocenoses, there appeared secondary deciduous stands nowadays occupying about 50 % of the total area of the Vologda Region forests.

We studied forming spruce forests from advance regeneration in a specially created study area where we carried out clear-cutting of the dominant deciduous tree storey and thinning of the spruce part with four variants of undergrowth preservation: 1.5, 3.0, 4.5 and 6.0 thousand units per ha. The study aimed to define the silvicultural efficiency of complex cutting with simultaneous harvesting of deciduous wood and undergrowth thinning of various intensity.

Forest inventory and analysis of the experimental material were carried out according to the methods commonly used in valuation and forestry.

Regular observations showed that there was practically no loss of growing spruce after cutting in each of the four variants. The spruce growth is characterized by the first class of the current site quality. Under 8 years after the cutting, the growing capacity at preservation of 1,500 units per ha of spruce undergrowth increased by the factor of 3.9. In this variant and during the entire 27-year period, the highest growth rates in terms of both height and diameter were preserved. The larger the quantity of undergrowth after thinning (3.0, 4.5 and 6.0 thousand units per ha), the lower the values of radial increment. The differences in increment height are less significant.

From the silvicultural point of view and on the basis of the research results, the efficiency of complex cuttings in deciduous stands was substantiated. A complete harvest of the dominant deciduous tree storey with simultaneous thinning of spruce undergrowth provides a more stable and improved forest structure. Complex cutting is applicable in deciduous stands having spruce undergrowth. The annual height increment of spruce undergrowth before cutting should not be less than 10–15 cm, while the age of the dominant part should not exceed 30–35 years.

Keywords: complex cutting, secondary forest, forestry efficiency, morphological structure of the stand, spruce undergrowth, growing capacity.

REFERENCES

1. Gryaz'kin A.V. *Vozobnovitel'nyy potentsial taezhnykh lesov* [Reforestation Potential of Boreal Forests]. St. Petersburg, 2001. 188 p.
2. Melekhov I.S. *Rubki glavnogo pol'zovaniya* [Final Felling]. Moscow, 1962. 330 p.
3. *Nastavlenie po rubkam ukhoda v ravninnykh lesakh Evropeyskoy chasti Rossii* [Instructions for Thinning in the Lowland Forests of the European Part of Russia]. Moscow, 1994. 190 p.
4. *Industry Standard 56-69-83. Sample Forest Plots. Establishment Method*. Moscow, 1983. 10 p. (in Russian).
5. *Pravila rubok glavnogo pol'zovaniya v ravninnykh lesakh Evropeyskoy chasti Rossiyskoy Federatsii* [Rules of Final Felling in the Lowland Forests of the European Part of the Russian Federation]. Moscow, 1994. 32 p.
6. *Pravila zagotovki drevesiny* [Logging Rules]. Order no. 184 of the Ministry of Natural Resources RF of 16 July 2007. Moscow, 2007. 18 p.
7. *Forest Tending Rules*. Order no. 185 of the Ministry of Natural Resources RF of 16 July 2007. Moscow, 2007. 43 p. (in Russian).
8. Sennov S.N. *Lesovedenie i lesovodstvo* [Forest Science and Forestry]. Moscow, 2006. 234 p.
9. Sennov S.N. *Rubki ukhoda za lesami* [Forest Thinning]. Moscow, 1977. 160 p.
10. Seryakov A.D., Il'yushenko A.F. Reaktsiya tonkomera eli na razrezhivanie myagkolistvennykh porod [Reaction of Undersized Spruce on the Thinning of Softwood Species]. *Lesovedenie*, 1986, no. 5, pp. 25–29.
11. Sukachev V.N. *Dinamika lesnykh biogeotsenozov* [Forest Ecosystems Dynamics]. *Osnovy lesnoy biogeotsenologii* [The Principles of Forest Biogeocenology]. Moscow, Leningrad, 1964, pp. 5–49.
12. Tikhonov A.S. *Lesovodstvennye osnovy razlichnykh sposobov rubki lesa dlya vozobnovleniya eli* [Silvicultural Bases of Different Methods of Logging for Spruce Reforestation]. Leningrad, 1979. 248 p.
13. Chmyr A.F. *Biologicheskie osnovy vosstanovleniya elovykh lesov yuzhnoy taygi* [Biological Bases of Spruce Reforestation in the Southern Taiga]. Leningrad, 1977, 160 p.
14. Chuprov N.P., Voynov G.S. *Rekomendatsii po vedeniyu khozyaystva v listvenno-elovykh lesakh Severa* [Recommendations for Management in Deciduous-Spruce Forests of the North]. Arkhangel'sk, 1979. 31 p.

УДК 630*232.11(318)

ИНТРОДУКЦИЯ СОСНЫ СКРУЧЕННОЙ В УСЛОВИЯХ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

© *В.М. Алексеев¹, канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр.*

А.В. Жигунов², д-р с.-х. наук, проф.

А.С. Бондаренко¹, канд. с.-х. наук, зав. лаб.

Д.С. Бурцев¹, канд. с.-х. наук, зав. лаб.

¹С.-Петербургский НИИ лесного хозяйства, Институтский пр., 21, С.-Петербург, Россия, 194021
E-mail: lesnik_84@mail.ru

²С.-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова,
Институтский пер., 5, С.-Петербург, Россия, 194021
E-mail: a.zhigunov@bk.ru

Представлены результаты изучения хода роста культур сосны скрученной 22-летнего возраста, произрастающих на территории Ленинградской области и являющихся полусибсовым потомством пяти различных плюсовых деревьев естественного ареала (провинция Альберта, Канада). Проведен сравнительный анализ посевных качеств семян сосны скрученной в условиях первичной интродукции и местной породы (сосна обыкновенная). На основе проведенных исследований сделаны предварительные выводы об уровне адаптации сосны скрученной при интродукции в условиях Ленинградской области.

В результате исследований выявлено, что с момента посадки и до достижения культурами второго класса возраста превосходство по скорости роста в высоту сохраняет за собой потомство сосны скрученной, интродуцированной из пункта Gordondale, а лучшие темпы роста в диаметре демонстрирует потомство экзота из Swan Hills.

Показатель всхожести семян у интродуцированной породы варьирует от 23,5 до 68,7 %. Наилучшим показателем всхожести обладают семена потомства сосны скрученной из пункта Grovedale.

Количество пустых семян у изученных потомств сосны скрученной варьирует в пределах 14,0...41,8 %, что говорит о необходимости дополнительной сепарации семян перед посевом и проведении дополнительного изучения свойств пыльцы сосны скрученной в условиях Северо-Запада России.

Ключевые слова: сосна скрученная, интродукция, ход роста, посевные качества семян.

Введение

Сосна скрученная (*Pinus contorta* Dougl.) является одной из основных лесообразующих пород Северной Америки, имеющей обширный естественный ареал, вытянутый в широтном направлении от Калифорнии (31° с.ш.) до Юкона (64° с.ш.). Западной границей ареала служат острова и побережье Тихого океана, в восточном направлении ареал простирается на 800 км в глубь Канады и на 1200 км по территории США от западного побережья Тихого океана [10].

Большой практический интерес к интродукции сосны скрученной проявляется в странах северной Европы, где данная порода демонстрирует более быстрый рост по сравнению не только с местными лесобразующими породами, но и с сосной скрученной в естественном ареале. Интерес к этой породе вызван и тем, что древесина сосны скрученной является ценным сырьем для получения целлюлозы как сульфитным, так и сульфатным способами. При этом выход целлюлозы из древесины составляет от 45 до 75 % [5]. О перспективности лесовыращивания сосны скрученной в центральной части России неоднократно высказывались И.И. Дроздов [4] и М.А. Куцевалов [6].

Исследования, проведенные различными авторами на территории Республики Карелия, Ленинградской и Новгородской областей [1, 2, 7, 9], показали, что выращивание именно этой породы может служить решением проблемы получения в короткие сроки (оборот рубки не более 45...50 лет) высококачественной древесины.

На Северо-Западе России сосна скрученная представлена сравнительно небольшими площадями. Первые упоминания о выращивании этого экзота в Сортавальском (Республика Карелия) и Сосновском (Ленинградская область) лесхозах датируются началом XX в. [2]. Перспективность выращивания сосны скрученной на территории Ленинградской области отмечают И.А. Маркова и А.В. Жигунов [7]. Положительные результаты выращивания лесных культур данной породы в Архангельской области приводит П.А. Феклистов [13]. На успешный ход адаптации этого экзота указывают Б.В. Раевский в Республике Карелия [9–11] и А.Л. Федорков в Республике Коми [12].

При интродукции сосны скрученной в новых для нее условиях необходимо сосредоточить усилия не только на изучении хода роста, но и на получении от акклиматизируемого растения семян местного происхождения с высокими показателями посевных качеств. Такой подход позволит при закладке лесных культур увеличить вероятность получения поколений, более стойких к неблагоприятным факторам окружающей среды [8].

Не менее важной задачей является определение лесосеменных районов естественного ареала сосны скрученной, переброска семян из которых при первичной интродукции в условиях Ленинградской области будет наиболее целесообразна.

Цель настоящего исследования – изучение хода роста, морфологических особенностей репродуктивных органов и посевных качеств семян сосны скрученной различного географического происхождения при первичной интродукции в условиях Ленинградской области.

Объекты и методика исследований

Объектами исследований служили 22-летние лесные культуры сосны скрученной, произрастающие в кисличных лесорастительных условиях (Карташевское лесничество Ленинградской области). Культуры заложены в 1989 г. сотрудниками ЛенНИИЛХ (под руководством И.А. Марковой) 2-летними

контейнеризированными сеянцами, выращенными в теплице Сиверского ТПК (под руководством А.В. Жигунова). Выращивание посадочного материала производили из семян 5 плюсовых деревьев сосны скрученной, произрастающих в различных географических пунктах естественного ареала (табл. 1). Площадь опытного участка 1 га. Культуры заложены под цилиндрическую лопату по пластам плуга ПКН-600. Густота посадки 3,3 тыс. шт./га. Повторность вариантов двукратная.

Таблица 1

**Характеристика семян сосны скрученной,
полученных в естественном ареале (Канада, провинция Альберта)**

Происхождение	Северная широта	Западная долгота	Высота над уровнем моря, м	Масса 1 тыс. шт. семян, г	Всхожесть, %
	град				
Edson	53,55	116,50	1036	3,64	94,2
Swan Hills	54,30	115,30	1066	3,45	84,9
Grovedale	54,35	119,00	1066	3,55	84,9
Gordondale	55,44	119,40	825	3,08	98,5
Hines greek	56,10	118,30	609	3,55	86,9

Удаленность в широтном направлении между материнскими плюсовыми деревьями сосны скрученной варьирует от 53 до 56°, по долготе – от 115 до 119°. Колебание высот над уровнем моря составляет 609...1066 м.

Определение диаметра производили путем сплошного обмера деревьев на высоте груди (1,3 м) на всей площади культур электронной мерной вилкой Masser Excaliper с точностью до 1 мм. Высоту определяли у каждого третьего дерева в ряду высотомером Masser-RC3H с точностью до 0,1 м.

Сбор шишек для определения посевных качеств семян осуществляли со всей части кроны у 5 средних деревьев каждого происхождения. Контролем служили шишки сосны обыкновенной, собранные на этом же участке.

Биометрические параметры (длина, диаметр, масса) определяли не менее чем у 50 шишек сосны скрученной каждого географического происхождения.

Для получения семян шишки сушили в сушильном шкафу при температуре 45 °С в течение 1 сут. Полученные семена обескыривали вручную и освобождали от крылаток и мусора с помощью сит. Энергию прорастания и всхожесть семян анализировали, проращивая семена на столе Якобсена в соответствии с ГОСТ 13056.6–97 [3] в четырех повторностях (по 100 шт.) для каждого варианта, включая контроль.

Результаты и их обсуждение

Скорость роста интродуцента является основным критерием оценки адаптации экзота в новых климатических условиях и играет важную роль при определении целесообразности дальнейшего лесовыращивания той или иной породы. Многолетние исследования по изучению акклиматизации сосны

скрученной на территории Северо-Запада России доказали высокую адаптивную способность этого интродуцента. Быстрый ход роста свидетельствует о конкурентоспособности данной породы с местным лесообразователем (сосной обыкновенной).

Изучение хода роста лесных культур сосны скрученной, расположенных в Карташевском лесничестве Ленинградской области, в течение 3 лет после закладки, проведенное А.В. Жигуновым, позволило нам оценить влияние географического расположения материнских деревьев на ход роста культур в новых условиях с момента закладки и до достижения ими 2-го класса возраста (табл. 2).

Таблица 2

Динамика хода роста культур сосны в первые 3 года выращивания

Происхождение	1-го года (1989 г.)		2-го года (1990 г.)		3-го года (1991 г.)	
	Высота, см	Диаметр, мм	Высота, см	Диаметр, мм	Высота, см	Диаметр, мм
<i>Сосна скрученная</i>						
Edson	34,0 ± 0,7	4,4 ± 0,1	55,0 ± 1,1	10,6 ± 0,2	85,0 ± 1,6	17,4 ± 0,4
Swan Hills	26,0 ± 0,8	4,2 ± 0,1	55,0 ± 1,1	11,3 ± 0,3	88,0 ± 2,0	18,4 ± 0,4
Grovedale	34,0 ± 0,8	4,8 ± 0,1	61,0 ± 1,2	11,5 ± 0,3	93,0 ± 1,8	18,4 ± 0,4
Gordondale	36,0 ± 0,7	5,0 ± 0,1	62,0 ± 1,3	10,8 ± 0,2	100,0 ± 1,9	17,9 ± 0,4
Hines greek	35,0 ± 0,8	4,9 ± 0,2	58,0 ± 1,3	10,4 ± 0,2	91,0 ± 2,2	16,8 ± 0,5
<i>Сосна обыкновенная</i>						
Сиверский лес	34,0 ± 0,9	5,0 ± 0,1	62,0 ± 1,2	11,6 ± 0,3	98,0 ± 2,4	17,8 ± 0,6

Полученные результаты показывают, что при достижении 3-летнего возраста наилучший ход роста в высоту отмечается у полусибирского потомства сосны скрученной из Gordondale, которое не только опережает по этому показателю другие варианты экзота, но и незначительно превосходит местную породу – сосну обыкновенную. Лучшие показатели по ходу роста в диаметре (3-й год роста) отмечены у потомства плюсовых деревьев из пунктов Swan Hills и Grovedale.

Изучение хода роста этих же культур сосны скрученной в 22-летнем возрасте позволяет нам дать промежуточную оценку адаптации ее экземпляров в новых условиях и провести сравнение темпов роста сосны скрученной различного происхождения в возрасте 3 и 22 года (табл. 3).

В ходе анализа биометрических параметров 22-летних культур установлено, что лучший ход роста в высоту наблюдается у местного лесообразователя – сосны обыкновенной. Контроль (при $p = 0,05$) достоверно превосходит по данному параметру потомство деревьев сосны скрученной из пунктов Swan Hills и Edson, превышение над потомством сосны скрученной из других вариантов является незначительным и недостоверным.

Таблица 3

Биометрические параметры 22-летних культур сосны

Происхождение	Высота h , м	Диаметр d , мм	Комплексный показатель d^2h , дм^3
<i>Сосна скрученная</i>			
Edson	$12,3 \pm 0,30$	$155,8 \pm 4,91$	$299 \pm 24,1$
Swan Hills	$12,1 \pm 0,21$	$152,1 \pm 4,99$	$305 \pm 25,8$
Grovedale	$12,9 \pm 0,28$	$141,3 \pm 3,38$	$262 \pm 25,8$
Gordondale	$13,2 \pm 0,31$	$147,7 \pm 3,55$	$280 \pm 24,2$
Hines greek	$13,1 \pm 0,34$	$142,2 \pm 3,54$	$288 \pm 27,7$
<i>Сосна обыкновенная</i>			
Сиверский лес	$13,3 \pm 0,16$	$149,3 \pm 2,86$	$322 \pm 22,2$

Среди всех изученных вариантов сосны скрученной наилучшим темпом роста в высоту обладает потомство происхождения из Gordondale, которое достоверно (при $p = 0,05$) превосходит по этому показателю сосну скрученную из Swan Hills и Edson.

Лучший ход роста по диаметру демонстрирует сосна скрученная из пункта Edson, которая достоверно превосходит по этому показателю не только сосну скрученную происхождением из Grovedale и Hines greek, но и контроль (хотя и недостоверно).

По комплексному показателю d^2h , пропорциональному объему ствола, лучшие результаты отмечены у местной породы – сосны обыкновенной, среди изученных происхождений сосны скрученной лучший результат по данному показателю принадлежит потомству Swan Hills. Разница между происхождениями сосны скрученной и местной породой является незначительной и статистически недостоверной.

Таким образом, можно констатировать, что при интродукции сосны скрученной в Ленинградскую область наилучшим темпом роста в высоту характеризуются потомства северных происхождений сосны скрученной из провинции Alberta – Grovedale и Hines greek, лучший ход роста в диаметре показывает самое южное потомство – Edson. Полученные данные необходимо учитывать при дальнейшем выращивании данной породы для получения конкретных сортиментов.

Отметим, что результаты по изучению хода роста 22-летних культур совпадают с данными, полученными при замерах этих культур в 3-летнем возрасте: наилучшим ходом роста по высоте среди изученных происхождений сосны скрученной характеризуется потомство пункта Gordondale, по диаметру – потомство плюсового дерева из Swan Hills. Это подтверждает возможность использования методов плюсовой селекции в отношении сосны скрученной при интродукции данного вида в условиях Ленинградской области.

Одной из основных задач интродукции растения в новых условиях, наряду с изучением хода роста, является получение семян местной популяции, обладающих высокими посевными качествами. Полученные нами результаты дают возможность определить оптимальные географические пункты

для заготовки семян сосны скрученной при дальнейшей интродукции на территории Ленинградской области, а также определить зависимость таких критериев, как масса 1 тыс. шт. семян, их полнозернистость и всхожесть, от географического расположения материнских деревьев.

Важными показателями при интродукции являются биометрические параметры шишек и выход семян из шишки, с помощью которых можно оценить хозяйственно-возможный сбор семян и определить площади под посадку интродуцируемых пород (табл. 4).

Таблица 4

Биометрические параметры шишек сосны скрученной при первичной интродукции (Карташевское лесничество)

Происхождение	Длина	Диаметр	Масса 1 тыс. шт. семян, г	Выход семян из шишки	
	мм			шт.	%
Edson	47,4 ± 0,65	28,1 ± 0,40	13,7 ± 0,38	26 ± 1,71	0,8 ± 0,06
Swan Hills	48,6 ± 0,71	28,0 ± 0,39	13,2 ± 0,47	30 ± 2,45	1,1 ± 0,09
Grovedale	47,3 ± 0,47	27,7 ± 0,29	12,5 ± 0,34	30 ± 1,81	0,9 ± 0,06
Gordondale	46,4 ± 0,51	26,4 ± 0,29	10,9 ± 0,35	15 ± 1,52	0,4 ± 0,03
Hines greek	42,5 ± 0,69	23,6 ± 0,28	8,6 ± 0,30	23 ± 1,56	0,9 ± 0,07

Наибольшими параметрами шишек (длина, диаметр, масса) обладает потомство растений из пункта Edson, которое достоверно (при $p = 0,05$) превосходит по биометрическим показателям шишки потомства Hines greek и Gordondale.

Максимальный средний выход семян из шишек отмечен у потомств сосны скрученной происхождения Swan Hills и Grovedale (30 шт.). Однако зависимости между биометрическими показателями шишек сосны скрученной различного происхождения и выходом семян из шишки выявлено не было.

Наряду с параметрами шишек большой интерес вызывает изучение массы семян в связи с изменчивостью этого показателя у сосны скрученной различного географического происхождения даже в условиях естественного ареала.

На изучаемом нами участке масса 1 тыс. шт. семян сосны скрученной различного происхождения варьирует от 2,85 до 4,44 г (табл. 5). Семена потомств Swan Hills, Edson и Grovedale превышают этот же показатель у семян, полученных в естественном ареале, что является одним из свидетельств адаптации к новым условиям.

Сравнение массы семян у потомств сосны скрученной различного географического происхождения показало, что наибольшей массой обладают семена потомства из Swan Hills.

При сравнении таких показателей, как энергия прорастания и всхожесть семян потомств сосны скрученной различного происхождения, установлено, что наилучшими показателями обладают семена потомства Grovedale. Энергия прорастания семян из пункта Grovedale достигает 66,5 %. По этому показателю семена данного происхождения достоверно превышают семена всех изученных вариантов сосны скрученной и контроль.

Таблица 5

Посевные качества семян сосны (Карташевское лесничество)

Происхождение	Масса 1 тыс. шт. семян, г	Энергия прорастания	Полнозернистость, %		Всхожесть
<i>Сосна скрученная</i>					
Edson	4,22	21,7 ± 1,12	58,2 ± 4,85		26,7 ± 2,56
Swan Hills	4,44	32,2 ± 2,05	78,5 ± 2,67		36,2 ± 2,21
Grovedale	3,72	66,5 ± 2,87	86,0 ± 3,19		68,7 ± 2,84
Gordondale	2,85	21,0 ± 2,51	72,5 ± 5,74		23,5 ± 2,50
Hines greek	3,17	41,0 ± 3,49	66,2 ± 3,35		42,2 ± 3,75
<i>Сосна обыкновенная</i>					
Сиверский лес	4,91	56,5 ± 2,47	77,7 ± 2,87		65,7 ± 1,18

Всхожесть семян сосны скрученной различного географического происхождения варьирует от 23,5 до 68,7 %. Как и в случае с энергией прорастания, лучший результат по всхожести семян демонстрирует потомство сосны скрученной Grovedale (68,7 %). Для семян данного варианта этот показатель достоверно превышает показатели для семян всех изученных происхождений сосны скрученной и незначительно превосходит контроль, но данное превосходство породы-интродуцента над контролем (при $p = 0,05$) является недостоверным.

Следует отметить, что количество пустых семян у исследуемых потомств сосны скрученной варьирует от 14,0 до 41,8 %, что может быть вызвано недостаточным количеством пыльцы при опылении в связи с небольшим возрастом культур, а также различным ее качеством. Это указывает на необходимость дополнительного изучения фертильности пыльцы данного интродуцента и проведения дополнительной сепарации семян сосны скрученной перед посевом для удаления пустых семян.

Полученные данные позволяют констатировать, что наилучшими энергией прорастания и всхожестью обладают семена потомств сосны скрученной из пункта Grovedale, которые по этим критериям превосходят не только все исследованные варианты сосны скрученной, но и семена сосны обыкновенной.

Проведенные исследования хода роста и репродуктивных свойств потомств сосны скрученной различного географического происхождения при первичной интродукции позволяют сделать следующие выводы.

1. При интродукции сосны скрученной в Ленинградскую область наилучшим темпом роста в высоту характеризуются потомства северных происхождений сосны скрученной из провинции Alberta – Grovedale и Hines greek, лучший ход роста в диаметре показывает потомство самого южного происхождения – Edson.

2. В условиях Ленинградской области сосна скрученная может успешно плодоносить и образовывать всхожие семена.

3. Наилучшими посевными качествами обладают семена потомств сосны скрученной из пункта Grovedale.

4. По энергии прорастания и всхожести семена потомства из Grovedale не только превышают семена всех изученных вариантов сосны скрученной, но и контроль, что доказывает необходимость более четко определять географические пункты сбора семян для первичной интродукции.

5. У семян сосны скрученной наблюдается значительное количество пустых семян, что подтверждает необходимость проведения дополнительной сепарации семян данной породы и исследований по определению фертильности пыльцы данного интродуцента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев В.М. Анализ перспективности различных хвойных видов интродуцентов в лесокультурном производстве // Изв. СПбГЛТА. 2009. Вып. 186. С. 24–30.
2. Гиргидов Д.Я. Сосна Муррея и дуб красный в северо-западных районах СССР // Лесн. хоз-во. 1952. № 7. С. 8–13.
3. ГОСТ 13056.6–97. Семена древесных и кустарниковых пород. Методы определения всхожести. Минск: Межгосстандарт, 1997. 27 с.
4. Дроздов И.И., Дроздов Ю.И. Культуры сосны скрученной в решении сырьевой проблемы балансовой древесины // Лесн. вестн. МГУЛ. 2005. № 5. С. 83–84.
5. Дроздов Ю.И. Сосна скрученная (*Pinus contorta*) на опытных объектах МГУЛ // Лесн. вестн. / МГУЛ. 2008. № 1. С. 188–192.
6. Куцевалов М.А. Культуры сосны Муррея в европейской части СССР: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Л., 1977. 28 с.
7. Маркова И.А., Жигунов А.В. Лесокультурные испытания перспективных пород интродуцентов на Северо-Западе России // Изв. СПбГЛТА. 1999. Вып. 165. С. 20–28.
8. Некрасов В.И. Основы семеноведения древесных растений при интродукции. М.: Наука, 1973. 279 с.
9. Раевский Б.В. Культуры сосны скрученной в Карелии: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. СПб., 1992. 25 с.
10. Раевский Б.В., Мордась А.А. Ход роста культур сосны скрученной в подзоне средней тайги // Лесн. журн. 2005. № 1-2. С. 22–33. (Изв. высш. учеб. заведений).
11. Раевский Б.В. Ход роста смешанных культур сосны скрученной и сосны обыкновенной в южной Карелии // Изв. Коми НЦ УрО РАН. 2010. № 1. С. 31–38.
12. Федорков А.Л., Туркин А.А. Экспериментальные культуры сосны скрученной в Республике Коми // Лесоведение. 2010. № 1. С. 70–74.
13. Феклистов П.А., Бирюков С.Ю. Сезонный рост сосны скрученной в северной подзоне тайги // Лесн. журн. 2006. № 6. С. 24–29. (Изв. высш. учеб. заведений).

Поступила 13.04.12

Introduction of *Pinus contorta* in the Leningrad Region

V.M. Alekseev¹, Candidate of Agriculture, Senior Researcher

A.V. Zhigunov², Doctor of Agriculture, Professor

A.S. Bondarenko¹, Candidate of Agriculture, Head of Laboratory

D.S. Burtsev¹, Candidate of Agriculture, Head of Laboratory

¹Saint Petersburg Forestry Research Institute, Institutskiy pr., 21, St. Petersburg, 194021, Russia

E-mail: lesnik_84@mail.ru

²St. Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov, Institutskiy pereulok, 5, St. Petersburg, 194021, Russia

E-mail: a.zhigunov@bk.ru

The paper studied the growth of 22-year-old *Pinus contorta* stands in the Leningrad Region. These trees are half-sib offsprings of five different plus trees from their native habitat (Alberta, Canada). We have carried out a comparative analysis of sowing qualities of *Pinus contorta* seeds at primary introduction and local species (*Pinus sylvestris*). The research resulted in some preliminary conclusions about the level of adaptation of *Pinus contorta* at its introduction in the Leningrad Region.

Since planting and up to the second age-class, the fastest height growth was observed in *Pinus contorta* offsprings from Gordondale community, and the fastest diameter growth was observed in the offsprings from Swan Hills.

Seed germination in introduced species varied from 23.5 to 68.7 %. The best germination results were observed in the seeds of *Pinus contorta* offsprings from Grovedale hamlet.

The amount of empty seeds in the offsprings under study varied between 14 and 41.8 %, suggesting the need for additional seed separation before sowing and further research on the properties of *Pinus contorta* pollen in Northwest Russia.

Keywords: *Pinus contorta*, introduction, course of growth, sowing qualities of seeds.

REFERENCES

1. Alekseev V.M. Analiz perspektivnosti razlichnykh khvoynykh vidov introdutsentov v lesokul'turnom proizvodstve [The Analysis of the Viability of Various Coniferous Species Introduced in Silvicultural Production]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii*, 2009, iss. 186, pp. 24–30.
2. Girgidov D.Ya. Sosna Murreya i dub krasnyy v severo-zapadnykh rayonakh SSSR [*Pinus murrayana* and *Quercus rubra* in the North-East USSR]. *Lesnoe khozyaystvo*, 1952, no. 7, pp. 8–13.
3. GOST 13056.6–97. *Semena drevesnykh i kustarnikovykh porod. Metody opredele-niya vskhozhesti* [State Standard 13056.6-97. Seeds of Trees and Shrubs. Methods for Determination of Germinating Capacity]. Minsk, 1997. 27 p.
4. Drozdov I.I., Drozdov Yu.I. Kul'tury sosny skruchennoy v reshenii syr'evoy problemy balansovoy drevesiny [The Culture of *Pinus contorta* in Desision of Raw Material Problem of Balance Wood]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik*, no. 5, 2005, pp. 83–84.
5. Drozdov Yu.I. Sosna skruchennaya (*Pinus contorta*) na opytnykh ob"ektakh MGUL [Longepole Pine (*Pinus contorta*) on Pilot Units of the Moscow State Forest Uni-

versity]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik*, 2008, no. 1, pp. 188–192.

6. Kutsevalov M.A. *Kul'tury sosny Murreya v evropeyskoy chasti SSSR: avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk [Pinus murrayana Stands in the European Part of the USSR: Cand. Agric. Sci. Diss. Abs.]*. Leningrad, 1977. 28 p.

7. Markova I.A., Zhigunov A.V. *Lesokul'turnye ispytaniya perspektivnykh porod-introdutsentov na Severo-Zapade Rossii [Silvicultural Tests of Promising Introduced Species in North-West Russia]*. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii*, 1999, iss. 165, pp. 20–28.

8. Nekrasov V.I. *Osnovy semenovedeniya drevesnykh rasteniy pri introduktsii [Basics of Woody Plants Seed Studies at Introduction]*. Moscow, 1973. 279 p.

9. Raevskiy B.V. *Kul'tury sosny skruchennoy v Karelii: avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk [Pinus contorta Stands in Karelia: Cand. Agric. Sci. Diss. Abs.]*. St. Petersburg, 1992. 25 p.

10. Raevskiy B.V., Mordas' A.A. *Khod rosta kul'tur sosny skruchennoy v podzone sredney taygi [Growth Progress of Lodgepole Pine Plantation in the Middle Taiga Subzone]*. *Lesnoy zhurnal*, 2005, no. 1–2, pp. 22–33.

11. Raevskiy B.V. *Khod rosta smeshannykh kul'tur sosny skruchennoy i sosny obyknovnoy v yuzhnoy Karelii [Growth and Development of Lodgepole Pine and Scotch Pine Provenances in Mixed Plantings in South Karelia]*. *Izvestiya Komi nauchnogo tsentra UrO RAN*, 2010, no. 1, pp. 31–38.

12. Fedorkov A.L., Turkin A.A. *Eksperimental'nye kul'tury sosny skruchennoy v Respublike Komi [Test of Shore Pine in the Republic of Komi]*. *Lesovedenie*, 2010, no. 1, pp. 70–74.

13. Feklistov P.A., Biryukov S.Yu. *Sezonnyy rost sosny skruchennoy v severnoy podzone taygi [Seasonal Growth of Shore Pine in Northern Taiga Subzone]*. *Lesnoy zhurnal*, 2006, no. 6, pp. 24–29.

УДК 630*182

ИЗМЕНЕНИЕ ВИДОВОГО РАЗНООБРАЗИЯ ФИТОЦЕНОЗОВ ПОСЛЕ СПЛОШНЫХ РУБОК

© *Е.А. Рай¹, ст. преп.*

Н.В. Бурова¹, канд. с.-х. наук, доц.

С.И. Слостников², директор ООО «Сорвижи-лес»

¹Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, 17, г. Архангельск, Россия, 163002

E-mail: elenarai@mail.ru

²ООО «Сорвижи-лес», ул. Советская, 24, с. Сорвижи, Арбажский район, Кировская область, Россия, 612192

E-mail: s.slastnikov@yandex.ru

Для лесных экосистем одним из значительных нарушений являются рубки. Исследований, посвященных сохранению и изменению биологического разнообразия при рубках леса, крайне мало. В целях изучения изменения флористического разнообразия на территории Сорвижского лесничества Кировской области в 2007 г. была произведена модельная сплошная рубка в сосняке липовом. На первом участке делянки рубка проведена без оставления деревьев и сохранения подроста с последующей посадкой лесных культур сосны. На втором участке проведена рубка без оставления деревьев и осуществлялось сохранение подроста. Третий участок вырублен с оставлением отдельных лиственных деревьев (березы), сосны, молодняка ели.

Спустя 4 года после рубки на всех участках вырубке отмечается увеличение видового богатства по сравнению с контрольным за счет видов сорной и рудеральной флоры. Однако на модельных участках изменение флористического разнообразия на пасаках, волоках, в бороздах и между борозд происходит по-разному. Наиболее высоким показателем флористического сходства (индекс Жаккара 0,68) отличаются контрольный участок и пасека с оставлением отдельных лиственных деревьев. Наименьшим сходством с контролем характеризуется участок делянки с лесными культурами (индекс Жаккара 0,33...0,38). При анализе видового состава установлено, что пасеки с оставлением деревьев и без оставления деревьев имеют сходный состав типичной лесной флоры, а пасеки без оставления деревьев и с лесными культурами схожи заносной флорой, формирующейся после рубки.

Высокие значения коэффициента сходства (0,52...0,57) выявлены при попарном сравнении видового состава в бороздах, между борозд и на волоках участка, где осуществлялась посадка культур. При посадке лесных культур происходят наиболее значительные повреждения напочвенного и почвенного покрова на всем участке. В связи с чем на разных элементах делянки (борозды, волоки, участки между борозд) формируется сходный флористический состав.

Таким образом, на вырубках в сосняках липовых отмечено увеличение видового разнообразия сосудистых растений за счет вселения новых видов луговой и сорной флоры. Чем более значительны изменения среды на вырубке, тем выше доля рудеральной флоры в составе сообщества. Сохранение флористического разнообразия, типичного для исследуемых лесных экосистем, отмечено на участках с оставлением отдельных элементов древостоя.

Ключевые слова: сплошные рубки, биоразнообразие, флористическое сходство.

Биологические системы обладают способностью к самовоспроизводству и самовосстановлению [12, 17]. Благодаря этим свойствам восстановление экосистем может происходить даже после их значительного нарушения, при условии, что в системе или ее окружении сохраняется «фонд» растений и животных, из которых она может быть снова составлена. При этом восстановление экосистемы обычно лишь вопрос времени, продолжительность которого зависит от ряда факторов, в том числе и от степени сохранности растительного компонента экосистемы [16].

Для лесных экосистем одним из значительных нарушений являются рубки. Однако работ, посвященных исследованию сохранения и изменения биологического разнообразия при рубках леса, крайне мало [1, 4, 5, 13].

Район, материалы и методы

Работы осуществлялись на территории Сорвижского лесничества Кировской области, которое по лесорастительному районированию относится к южно-таежному району европейской части Российской Федерации [6]. С целью изучения изменения флористического разнообразия в 2007 г. была произведена модельная сплошная рубка в сосняке липовом. Данный тип леса наиболее часто встречается на исследуемой территории. Тип лесорастительных условий – С₂. Название типов леса давалось по классификации В.М. Сукачева, типов условий местопроизрастания – по П.С. Погребняку [2]. Формула древостоя, исследуемых насаждений 5С1Е4Б. Возраст 80 лет. Средняя высота пород, участвующих в формировании древостоя, составляет 24...26 м, средний диаметр – 22...24 см. Бонитет 1. Полнота 0,7. Средний запас 260 м³/га. Рубка была проведена в зимний период по среднепасечной технологии с использованием бензомоторных пил и трелевочного трактора ТДТ-55.

На одном участке делянки сплошная рубка проведена без оставления деревьев и сохранения подроста. При этом порубочные остатки собирались в кучи и сжигались. Лесовосстановление осуществлялось путем посадки лесных культур сосны. Подготовка почвы производилась осенью лесным плугом ПКЛ-70. Посадка проведена в весенний период ручным способом под меч Колесова. Для посадки использовались стандартные однолетние сеянцы сосны.

На втором участке делянки была проведена сплошная рубка без оставления деревьев и осуществлялось содействие естественному лесовосстановлению путем сохранения подроста. Очистка лесосек произведена укладкой порубочных остатков на волокни и их приминанием трактором.

Третий участок делянки был вырублен с оставлением отдельных лиственных деревьев (березы), сосны, молодняка ели в целях повышения биоразнообразия согласно Правилам заготовки древесины [11] и требованиям Российского национального стандарта добровольной лесной сертификации по схеме Лесного попечительского совета [14]. Очистка лесосек на данном участке осуществлялась складированием порубочных остатков на волокни и их приминанием трактором.

На указанных участках через четыре года после рубки, а также на контрольном не рубленном участке были заложены пробные площади. Подбор и закладка пробных площадей выполнены с учетом требований ГОСТ 16128–70 [3], ОСТ 56-69–83 [9], подробно описанных методик [15] и в соответствии с нормативами [7].

Для изучения подроста, подлеска и живого напочвенного покрова на каждой пробной площади закладывалось по 25 учетных площадок размером 4 м² [10]. На вырубках учетные площадки располагались вдоль трансект, заложенных на волоке и в центре пасаки, на участке с лесными культурами – на волоке, в борозде и между борозд. На каждой площадке описывался видовой состав, для каждого вида устанавливались проективное покрытие и обилие по шкале О. Друде. Для оценки видового разнообразия сообществ использовались показатель видового богатства и индекс сходства флористического состава Жаккара [8].

Результаты и их обсуждение

На первом участке, где после рубки были посажены лесные культуры сосны, и на втором, где осуществлялось содействие естественному возобновлению путем сохранения подроста, древостой отсутствует. На третьей пробной площади при рубке были сохранены элементы древостоя в количестве 286 экз./га (береза – 197 экз./га; ель – 86 экз./га; сосна – 3 экз./га). Средняя высота оставленных деревьев березы составила 20 м, средний диаметр – 16 см; ели – 13 м и 14 см; сосны – 27 м и 31 см соответственно.

На контрольном участке зафиксирован 31 вид сосудистых растений. В целом на всех участках вырубке отмечается некоторое увеличение видового богатства по сравнению с контрольным участком. Однако на пасаках, волоках, в бороздах и между борозд изменение флористического разнообразия происходит по-разному (табл. 1). Так, на пасаках во всех вариантах отмечено увеличение количества видов до 33...34 экз., а на волоках наоборот – сокращение данного показателя до 26...29 экз., за исключением волока на участке с лесными культурами (33 вида). При этом для древесного яруса после рубки отмечено сокращение видового богатства, для кустарничкового и травяно-кустарничкового – увеличение.

Таблица 1

Флористическое богатство сосняков липовых, пройденных сплошными рубками

Ярус сообщества	Контроль	С оставлением лиственных деревьев		Без оставления деревьев		С посадкой лесных культур		
		Пасака	Волок	Пасака	Волок	Волок	Между борозд	Борозда
Древесный	6	5	4	4	3	4	4	4
Подлесочный	4	5	3	6	5	4	6	4
Травяно-кустарничковый	21	23	19	23	21	25	24	22
<i>Всего</i>	31	33	26	33	29	33	34	30

Для установления сходства видового состава исследуемых участков использовали индекс Жаккара (табл. 2). Наиболее высоким показателем флористического сходства (0,68) отличаются контрольный участок и пасека с оставлением отдельных лиственных деревьев, что скорее всего связано с наименьшим изменением условий местообитания. Следует отметить, что все остальные показатели сравнения с контрольным участком значительно ниже (0,33...0,43). Также высокие показатели сходства отмечены для пасаек на разных участках вырубке: без оставления и с оставлением лиственных деревьев – 0,48, без оставления деревьев и с лесными культурами – 0,58. При этом пасеки с оставлением лиственных деревьев и с лесными культурами имеют коэффициент сходства всего 0,37. При анализе видового состава установлено, что пасеки с оставлением и без оставления деревьев имеют сходный состав типичной лесной флоры, а пасеки без оставления деревьев и с лесными культурами схожи заносной флорой, формирующейся после рубки.

Достаточно высокий индекс Жаккара (0,56) характерен для пасаек и волоков в варианте без оставления древостоя. В то же время для пасаек и волоков с оставлением лиственных деревьев этот показатель значительно ниже (0,43), что свидетельствует о том, что флористический состав на пасаках и волоках с оставлением деревьев значительно отличается. Видовой состав на пасаках под прикрытием лиственных деревьев более схож с контрольным участком.

Таблица 2

Коэффициент сходства (индекс Жаккара) флористического состава сосняков липовых, пройденных сплошными рубками

Варианты		Конт- роль	С оставле- нием лист- венных деревьев		Без оставления деревьев		С посадкой лесных культур		
			Во- лок	Па- сека	Во- лок	Па- сека	Во- лок	Между борозд	Бо- роз- да
Контроль		×	0,43	0,68	0,39	0,45	0,33	0,35	0,38
С оставлением лиственных деревьев	Волок		×	0,43	0,45	0,37	0,31	0,33	0,37
	Пасека			×	0,38	0,49	0,35	0,37	0,37
Без оставления деревьев	Волок				×	0,56	0,45	0,48	0,45
	Пасека					×	0,46	0,58	0,46
С посадкой лес- ных культур	Волок						×	0,57	0,55
	Между борозд							×	0,52
	Борозда								×

Высокие значения коэффициента сходства (0,52...0,57) также выявлены при попарном сравнении видового состава в бороздах, между борозд и на волоках участка, где осуществлялась посадка сосны и сжигание порубочных остатков. При указанных мероприятиях происходят наиболее значительные и равномерные повреждения напочвенного и почвенного покрова. В связи с этим формируется сходный флористический состав.

Изменение среды после рубки вызывает изменение флористического состава. Анализ видового состава, обилия и проективного покрытия отдельных видов (табл. 3) позволил разделить все виды растений на несколько групп:

виды, сократившие численность после рубки: лерхенфельдия извилистая, хвощ лесной, ястребинка зонтичная, плаун годичный, майник двулистный, марьянник луговой, перловник поникший, ортилия однобокая, седмичник европейский, черника и брусника;

виды, увеличившие численность после рубки: вейник лесной и наземный, земляника лесная, костяника каменистая, ландыш майский, орляк обыкновенный, фиалка собачья и золотарник обыкновенный;

виды, отмеченные преимущественно на вырубке: чертополох курчавый, осока заячья, осока верещатниковая, иван-чай узколистный, бодяк полевой, скерда кровельная, щучка дернистая, мелколепестник едкий и канадский, цмин песчаный, ястребинка волосистая, кульбаба осенняя, купена душистая, щавель кисловатый, осот полевой, звездчатка злаковидная, одуванчик лекарственный, тромсдорфия пятнистая, мать-и-мачеха обыкновенная, вероника дубравная, вероника лекарственная и мятлик однолетний. Некоторые виды из данной группы были отмечены в ненарушенном сообществе вне учетных площадок (кошачья лапка двудомная, щитовник игольчатый, голокучник трехраздельный, кислица обыкновенная, любка двулистная);

виды, отмеченные только в ненарушенных сообществах: линнея северная.

Для типичных лесных видов после рубки отмечено сокращение обилия. Опушечные виды, предпочитающие открытые хорошо освещенные пространства, как правило, разрастаются на вырубках. Увеличение видового богатства происходит в основном за счет видов сорной и рудеральной флоры, количество которых значительно возрастает после рубки. Причем, чем более значительны воздействия на лесные сообщества (рубка, очистка лесосек, посадка лесных культур), тем выше доля рудеральной флоры в его составе.

Таблица 3

**Видовой состав и обилие растений (по шкале О. Друде) сосняков липовых,
пройденных сплошными рубками**

Вид растений	Конт- роль	С оставлени- ем листвен- ных деревьев		Без оставления деревьев		С посадкой лесных культур		
		Во- лок	Па- сека	Во- лок	Пасе- ка	Во- лок	Между борозд	Бороз- да
Кошачья лапка дву- домная (<i>Antennaria dioica</i>)			гг		гг		гг	
Лерхенфельдия из- вилистая (<i>Avenella flexuosa</i>)	sol		sol					sol
Вейник лесной (<i>Calamagrostis arundinaceae</i>)	sol	cop1	sp	cop1	cop1	cop1	cop2	sol
Вейник наземный (<i>Calamagrostis epigeios</i>)	гг	sol		sol	sol	sol	sol	sol
Чертополох курча- вый (<i>Carduus crispus</i>)				гг	un		гг	
Осока верещатнико- вая (<i>Carex ricetorum</i>)					гг	sol	гг	sol
Осока заячья (<i>Carex lachenalii</i>)							гг	
Иван-чай узколист- ный (<i>Chamaenerion angustifolium</i>)		sol		sol	sp	cop1	cop1	cop1
Бодяк полевой (<i>Cirsium arvense</i>)				sol	sol	sol	sol	sol
Ландыш майский (<i>Convallaria majalis</i>)	гг		sol	sp	sol	гг		
Скерда кровельная (<i>Crepis tectorum</i>)						гг		
Щучка дернистая (<i>Deschampsia cespitosa</i>)					гг		sol	
Щитовник игольча- тый (<i>Dryopteris carthusiana</i>)		гг		гг				
Хвощ лесной (<i>Equisetum ylvaticum</i>)	sol	sol	гг					
Мелколепестник едкий (<i>Erigeron acris</i>)						sol		
Мелколепестник канадский (<i>Erigeron canadensis</i>)				гг	sol	cop1	sp	cop1

Продолжение табл. 3

Вид растений	Конт- роль	С оставлени- ем листвен- ных деревьев		Без оставления деревьев		С посадкой лесных культур		
		Во- лок	Па- сека	Во- лок	Пасе- ка	Во- лок	Между борозд	Бо- розда
Земляника лесная (<i>Fragaria vesca</i>)	гг	гг	sol	sol	sol	sol		sol
Голокучник трех- раздельный <i>Gymnocarpium</i> <i>dryopteris</i>)		гг						
Цмин песчаный (<i>Helichrysum</i> <i>arenarium</i>)								гг
Ястребинка волоси- стая (<i>Hieracium</i> <i>pilosella</i>)						гг		гг
Ястребинка зонтич- ная (<i>Hieracium</i> <i>umbellatum</i>)	sol		гг		гг		гг	
Кульбаба осенняя (<i>Leontodon</i> <i>autumnalis</i>)							гг	sol
Линнея северная (<i>Linnaea borealis</i>)	sol							
Ожика волосистая (<i>Luzula pilosa</i>)	sol	гг	sol		sol		sol	sol
Плаун годичный (<i>Lycopodium</i> <i>annotinum</i>)	sol	гг	sol			sol		
Майник двулистный (<i>Maianthemum</i> <i>bifolium</i>)	sol	sol	sol	sol	sol		гг	гг
Марьянник луговой (<i>Melampyrum</i> <i>pratense</i>)	sol		sol					
Перловник поник- ший (<i>Melica nutans</i>)	sol	un		sol	гг			sol
Ортилия однобокая (<i>Orthilia secunda</i>)	sol		гг					
Кислица обыкновен- ная (<i>Oxalis</i> <i>acetosella</i>)		гг						
Любка двулистная (<i>Platanthera bifolia</i>)		гг		гг				
Мятлик однолетний (<i>Poa annua</i>)			гг					гг

Окончание табл. 3

Вид растений	Конт- роль	С оставлени- ем листвен- ных деревьев		Без оставления деревьев		С посадкой лесных культур		
		Во- лок	Пасе- ка	Во- лок	Пасе- ка	Во- лок	Между борозд	Бо- розда
Купена душистая (<i>Polygonatum odora- tum</i>)				rr		rr	rr	
Орляк обыкновен- ный (<i>Pteridium aquilinum</i>)	sol		sp	sol		sol	sp	sol
Костяника камени- стая (<i>Rubus saxatilis</i>)	sol	sol	sp	cop1	sp	cop1	cop1	sp
Щавель кисловатый (<i>Rumex acetosella</i>)					rr	rr	rr	
Золотарник обыкно- венный (<i>Solidago virgaurea</i>)	sol	sol	sol	sp	sp	sp	sp	sp
Осот полевой (<i>Sonchus arvensis</i>)						rr	rr	
Звездчатка злако- видная (<i>Stellaria graminea</i>)			sol					
Одуванчик лекар- ственный (<i>Taraxacum officinale</i>)				sol		sol	sol	sol
Седмичник европей- ский (<i>Trientalis europaea</i>)	sol	sol	sol	sol	sol			
Тромсдорфия пятни- стая (<i>Trommsdorffia maculata</i>)						un		
Мать-и-мачеха обыкновенная (<i>Tussilago farfara</i>)						rr		
Черника (<i>Vaccinium myrtillus</i>)	cop2	sol	sp	sol	rr	rr	sol	rr
Брусника (<i>Vaccinium vitis-idaea</i>)	cop1	sol	sp	sol	sol	sol	sol	sol
Вероника дубравная (<i>Veronica chamaedrys</i>)		rr	rr					
Вероника лекар- ственная (<i>Veronica officinalis</i>)			rr		rr	rr		
Фиалка собачья (<i>Vio- la canina</i>)	un		un	rr	sol	sol	sol	sol

На четырехлетних вырубках в сосняках липовых отмечено увеличение видового разнообразия сосудистых растений. Этот показатель увеличивается за счет вселения на вырубки новых видов, преимущественно луговой и сорной флоры. Сохранение флористического разнообразия, типичного для исследуемых лесных экосистем, отмечено на участках с оставлением отдельных элементов древостоя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абатуров А.В., Меланхолин П.Н.* Опыт рубок ухода в березняках I группы // Лесопользование в лесах различных категорий защитности. М.: Минлеспром СССР, 1991. С. 1.
2. *Горев Г.И.* Пособие по определению типов леса Кировской области / Кировское упр. лесн. хоз-ва, Кировское ПО «Облмежколхозлес», Кировское областное правление НТО лесн. пром-сти и лесн. хоз-ва. Киров, 1975. 28 с.
3. ГОСТ 16128–70. Площади пробные лесостроительные. Метод закладки. М.: Изд-во стандартов 1971. 23 с.
4. *Меланхолин П.Н.* Изменение биоразнообразия в нижнем ярусе березняка после рубок ухода // Биологическое разнообразие лесных экосистем: тез. докл. всеросс. совещ. М., 1995. С. 279–280.
5. *Меланхолин П.Н.* Изменение видового разнообразия травяно-кустарничкового яруса при различных антропогенных нагрузках на лесные экосистемы // Лесоведение. 2006. № 6. С. 52–58.
6. Об утверждении Перечня лесорастительных зон РФ и Перечня лесных районов РФ. Приказ Рослесхоза № 61 от 09.03.2011 г.
7. Общесоюзные нормативы для таксации лесов / В.В. Загребев, В.И. Сухих, А.З. Швиденко, Н.Н. Гусев, А.Г. Мошкалева. М.: Колос, 1992. 495 с.
8. *Одум Ю.* Основы экологии / Под ред. Н.П. Наумова. М.: Мир, 1975. 740 с.
9. ОСТ 56-69–83. Площади пробные лесостроительные. Метод закладки. Введ. 01.01.84. М.: ЦБНТИ Гослесхоза СССР, 1984. 60 с.
10. *Побединский А.В.* Изучение лесовосстановительных процессов. М.: Наука, 1966. 64 с.
11. Правила заготовки древесины: приказ МПР России № 184 от 16.07.2007 г.
12. *Пригожин И.Р., Стенгерс И.* Порядок из хаоса: Новый диалог человека с природой. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 296 с.
13. *Прокопцов В.В., Андрюшин Г.С.* Влияние давности рубок ухода в сосняках на состав живого напочвенного покрова // Лесн. журн. 2001. № 2. С. 21–24. (Изв. высш. учеб. заведений).
14. Российский национальный стандарт добровольной лесной сертификации по схеме FSC®. FSC-STD-RUS-V6–2012. М., 2008.
15. *Сукачев В.Н., Зонн С.В.* Методические указания к изучению типов леса. М.: АН СССР, 1961. 144 с.
16. Экосистемы в критических состояниях / Под ред. Ю.Г. Пузаченко. М.: Наука, 1989. 155 с.
17. *Эшби У.* Введение в кибернетику. М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1959. 432 с.

Поступила 13.04.12

Changes in Species Diversity of Plant Communities After Clear-Cutting

*E.A. Rai*¹, Senior Lecturer

*N.V. Burova*¹, Candidate of Agriculture, Associate Professor

*S.I. Slastnikov*², Director of JSC “Sorvizhi-Les”

¹Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russia

E-mail: elenarai@mail.ru

²JSC “Sorvizhi-Les”, Sovetskaya, 24, Sorvizhi, Kirov Region, 612192, Russia

E-mail: s.slastnikov@yandex.ru

Cuttings are one of the major disturbances of forest ecosystems. There are very few works studying the protection and changes of biodiversity at cutting. With the purpose of studying changes in floristic diversity, we carried out in 2007 a model clear-cutting in the linden pine forest of the Sorvizhi Forestry, Kirov Region. At the first site, the cutting was conducted without leaving any trees and undergrowth followed by artificial pine stands planting. At the second site, the cutting was conducted without leaving any trees but with undergrowth preservation. The third site was cut leaving separate deciduous trees (birch), pine, and young spruce trees.

At each of the cutting sites we observed increased species richness, as compared to the control site, due to the weed and ruderal vegetation. But floristic diversity changes differently at model sites, logways, furrows and between them. The highest index of floristic similarity (Jaccard index 0.68) was observed at the control site and skidding trail with separate deciduous trees left. The minimal similarity to the control site was observed at the cutting site with artificial stands (Jaccard index 0.33–0.38). Having analyzed the species structure, we found that skidding trails with and without any trees left have similar typical forest flora, while skidding trails without any trees left and those with artificial stands have similar introduced flora that appeared after cutting.

High similarity indices (0.52–0.57) were identified during pairwise comparison of species composition in furrows, between them and on logways where artificial stands were planted. Artificial stands planting caused the most considerable damage of ground and soil cover throughout the entire site. Therefore, similar floristic composition is formed on different site elements (logways, furrows and places between them).

Thus, species diversity of vascular plants in cutting areas of linden pine forests increased due to introduction of new meadow and weed flora species. Besides, the more considerable the environmental changes in the cutting area, the higher the proportion of ruderal vegetation in the community. Floristic diversity, typical for the forest ecosystems under consideration, tended to be preserved at the sites with separate forest elements left.

Keywords: clear-cutting, biodiversity, floristic similarity.

REFERENCES

1. Abaturon A.V., Melankholin P.N. *Opyt rubok ukhoda v bereznyakakh I gruppy* [Thinning in Group I Birch Forests]. *Lesopol'zovanie v lesakh razlichnykh kategoriy zashchitnosti* [Forest Management in Forests of Different Protection Categories]. Moscow, 1991, p. 1.
2. Gorev G.I. *Posobie po opredeleniyu tipov lesa Kirovskoy oblasti* [Manual for Definition of Forest Types in the Kirov Region]. Kirov, 1975. 28 p.

3. *State Standard 16128-70. Sample Forest Plots. Establishment Method*. Moscow, 1971. 23 p. (in Russian).
 4. Melankholin P.N. *Izmenenie bioraznoobraziya v nizhnem yaruse bereznyaka posle rubok ukhoda* [Biodiversity Change in Birch Forest Understorey After Thinning]. *Biologicheskoe raznoobrazie lesnykh ekosistem. Tez. dokl. Vserossiysk. soveshch.* [Biodiversity of Forest Ecosystems. Outline Reports of the All-Russian Meeting]. Moscow, 1995, pp. 279–280.
 5. Melankholin P.N. *Izmenenie vidovogo raznoobraziya travyano-kustarnichkovogo yarusa pri razlichnykh antropogennykh nagruzkakh na lesnye ekosistemy* [Changes in Species Diversity of the Herb-Shrub Layer Under Different Anthropogenic Loads on Forest Ecosystems]. *Lesovedenie*, 2006, no. 6, pp. 52–58.
 6. *On Approving the List of Forest Growth Zones of the Russian Federation and the List of Forest Areas of the Russian Federation*. Order of the Federal Forestry Agency of 09.03.2011 no. 61 (in Russian).
 7. Zagreev V.V., Sukhikh V.I., Shvidenko A.Z., Gusev N.N., Moshkalev A.G. *Obshchesoyuznye normativy dlya taksatsii lesov* [Union-Wide Standards for Forest Inventory]. Moscow, 1992. 495 p.
 8. Odum E. *Fundamentals of Ecology*. 1953 (Russ. ed.: Odum Yu. *Osnovy ekologii*. Moscow, 1975. 740 p.).
 9. *Industry Standard 56-69-83. Sample Forest Plots. Establishment Method*. Moscow, 1984. 60 p. (in Russian).
 10. Pobedinskiy A.V. *Izuchenie lesovosstanovitel'nykh protsessov* [The Study of Reforestation Processes]. Moscow, 1966. 64 p.
 11. *Logging Rules*. Order of the Ministry of Natural Resources of 16.07.2007 no. 184 (in Russian).
 12. Prigogine I., Stengers I. *Order out of Chaos: Man's New Dialogue with Nature*. London. 1984 (Russ. ed.: Prigozhin I.R., Stengers I. *Poryadok iz khaosa: Novyy dialog cheloveka s prirodoy*. Moscow, 2008. 296 p.).
 13. Prokoptsov V.V., Andryushin G.S. *Vliyanie davnosti rubok ukhoda v sosnyakakh na sostav zhivogo napochvennogo pokrova* [Influence of Cleaning Cutting Time in the Pine Stands on the Field Layer Composition]. *Lesnoy zhurnal*, 2001, no. 2, pp. 21–24.
 14. *FSC Forest Stewardship Council Standard for Russian Federation*. FSC®. FSC-STD-RUS-V6–2012. Moscow, 2008.
 15. Sukachev V.N., Zonn S.V. *Metodicheskie ukazaniya k izucheniyu tipov lesa* [Methodological Guidelines for the Study of Forest Types]. Moscow, 1961. 144 p.
 16. *Ekosistemy v kriticheskikh sostoyaniyakh* [Ecosystems in Critical Conditions]. Ed. by Puzachenko Yu.G. Moscow, 1989. 155 p.
 17. Ashby W.R. *Introduction to Cybernetics*. Chapman & Hall, 1956 (Russ. ed.: Eshbi U. *Vvedenie v kibernetiku*. Moscow, 1959. 432 p.).
-

УДК 674.032.475.3/4

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ РОСТ КУЛЬТУР СОСНЫ И ЛИСТВЕННИЦЫ В ТИПЕ ЛЕСА СОСНЯК ТРАВЯНОЙ

© **В.В. Костышев, асп.**

Уральский государственный лесотехнический университет, Сибирский тракт, 37,
г. Екатеринбург, Россия, 620100
E-mail : kostyshev@yandex.ru

Изучение лесных культур в 60-летнем возрасте после их выхода из фазы жердняка, совпадающего по времени с завершением интенсивного отпада культивируемых деревьев, характеризующегося в фазе формирования стволов дальнейшим быстрым накоплением массы стволовой древесины, позволяет определить перспективу формирования древостоя к возрасту спелости.

Цели работы – сравнение продуктивности чистых культур сосны и лиственницы с помощью вариационной статистики; выявление различия в росте по диаметру культивируемых растений; изучение влияния березы в составе насаждений.

Запас древесины в культурах сосны превосходит аналогичный показатель в культурах лиственницы. Береза оказывает благоприятное действие на культуры сосны и лиственницы, являясь подгоном для главной породы, и способствует повышению плодородия почвы и биологической устойчивости культур к неблагоприятному влиянию условий среды.

Создание чистых культур лиственницы в лесорастительных условиях сосняка травяного не позволяет достичь превосходства в продуктивности над чистыми культурами сосны, традиционно создаваемыми в этих лесорастительных условиях. Культуры лиственницы, в отличие от культур сосны, к 60-летнему возрасту не достигли количественной и технической спелости; срок выращивания культур лиственницы необходимо продлить на один класс возраста. Береза в составе древостоев культур сосны и лиственницы в возрасте 60 лет достигает оптимальных размеров для использования в качестве сырья фанерного производства, заготовка которого должна производиться в процессе изреживания при проведении проходных рубок.

Ключевые слова: сосна, лиственница, лесные культуры, рост, изменчивость таксационных показателей.

Внедрение лиственницы в культуры в лесорастительных условиях южной тайги Среднего Урала преследует достижение следующих целей: повышение продуктивности, биологической устойчивости, эстетической и экономической значимости лесов. Изучение лесных культур в 60-летнем возрасте, после выхода культур из фазы жердняка, совпадающего по времени с завершением интенсивного отпада культивируемых деревьев, характеризующегося в фазе формирования стволов дальнейшим быстрым накоплением массы стволовой древесины, позволяет определить перспективу формирования древостоя к возрасту спелости [2, 3, 5].

Таблица 1

Лесоводственно-таксационные показатели культур лиственницы и сосны в возрасте 60 лет (пробная площадь №4)

Номер секции, древесная порода	Средние		Класс бонитета	Полнота относительная	Породный состав	Запас, м ³ /га	Число деревьев, шт./га
	диаметр, см	высота, м					
№ 1, лиственница береза	17,66	24,00	Ia	0,8	Л 8,5	333,80	986
	22,24	28,20			Б 1,5	62,20	116
<i>Итого</i>					10,0	396,00	1102
№ 2, сосна береза	22,96	25,40	Ia	1,1	С 9,0	501,68	1000
	24,62	28,20			Б 1,0	54,29	81
<i>Итого</i>					10,0	555,97	1081

Для сравнительной оценки роста чистых культур сосны и лиственницы в распространенных в южной тайге лесорастительных условиях сосняка травяного, сформировавшихся на супесчаных хорошо дренированных почвах равнинных местоположений, была заложена двухсекционная пробная площадь в примыкающих друг к другу древостоях чистых культур сосны и лиственницы 60-летнего возраста, созданных посадкой семян в дно борозд со средним расстоянием между ними 3 м и шагом посадки 0,7 м (первоначальная густота культур – 4,76 тыс. шт./га). Площадь секции № 1 культур лиственницы составила 0,215 га, секции № 2 культур сосны – 0,161 га.

Приведенные в табл. 1 сравнительные показатели продуктивности свидетельствуют о преимуществе в росте культур сосны над культурами лиственницы. При близкой текущей густоте древостоя (986 шт./га лиственница, 1000 шт./га – сосна) запас в культурах сосны (501,68 м³ в пересчете на 1 га) превосходит в 1,5 раза аналогичный показатель культур лиственницы (333,80 м³/га), а с учетом запаса березы естественного происхождения – в 1,4 раза (соответственно 54,29 и 62,20 м³/га).

Участие в составе древостоя березы, несколько превосходящей по биометрическим характеристикам сосну и лиственницу (соответственно 10 и 15 %), не могло оказать сильного ингибирующего влияния на их рост. Более того, участие березы в составе чистых культур оказывает положительное влияние на формирование ствола сосны и лиственницы, повышая их очищаемость от сучьев, снижая сбежистость, способствуя повышению плодородия почвы и биологической устойчивости культур к неблагоприятному влиянию условий среды [4–6].

Превосходство в запасе древесины в культурах сосны над культурами лиственницы сформировалось в силу более высоких биометрических показателей деревьев сосны, что объясняется более благоприятными условиями сос-

няка травяного для произрастания этой древесной породы. Культуры лиственницы в этих лесорастительных условиях сформировали также достаточно высокий запас древесины, но в более благоприятных условиях произрастания, формирующихся на свежих высокоплодородных дренированных почвах. Лиственница хорошо реагирует на повышение плодородия почвы и способна повысить продуктивность и превзойти по этому показателю культуры сосны. Показатели индивидуальной изменчивости диаметра ствола, отражающие особенности формирования искусственных древостоев, приведены в табл. 2.

При анализе характеристик индивидуальной изменчивости таксационных показателей деревьев необходимо иметь в виду, что формирование древостоев после их смыкания при сравнительно равномерном размещении культивируемых деревьев на площади происходило в сомкнутом состоянии, вследствие чего отклонения статистических параметров распределения, вызываемые действием внешних факторов, в значительной мере определялись внутривидовой конкуренцией культивируемых деревьев и межвидовой конкуренцией березы, опережавшей в росте культуры сосны и лиственницы и проявлявшей по отношению к ним ингибирующее действие на протяжении 50-летнего периода роста культур в сомкнутом состоянии.

Таблица 2

Статистические характеристики распределения деревьев по диаметру ствола на высоте 1,3 м (пробная площадь № 4)

Статистические характеристики	Секция 1		Секция 2	
	Лиственница	Береза	Сосна	Береза
Количество деревьев шт./га	986	116	1000	81
Площадь секции, га	0,215	0,215	0,161	0,161
Число наблюдений	212	25	161	13
Среднее значение ряда M , см	17,66	22,24	22,96	24,62
Стандартное отклонение σ , см	7,16	8,41	6,09	9,64
Коэффициент вариации V , %	40,54±1,97	37,81±5,35	26,52±1,48	39,16±7,69
Коэффициент асимметрии A	0,47±0,17	-0,13±0,49	0,05±0,19	-0,33±0,68
Коэффициент эксцесса E	-0,55±0,34	-1,35±0,98	-0,66±0,38	-1,72±1,36
Ошибка среднего значения m	0,49	1,68	0,48	2,68
Показатель точности опыта P	2,77	7,55	2,09	10,89
t-критерий достоверности:				
V	20,58	7,07	17,92	5,09
A	2,76	0,27	0,26	0,49
E	1,62	1,38	1,74	1,26

Распределение деревьев лиственницы по диаметру ствола (табл. 3; рис. 1, а, б), имеет выраженную положительную асимметрию (А), достоверную статистически ($A = 0,47 \pm 0,17$). Формирование положительной асимметрии произошло за счет накопления числа тонкомерных деревьев лиственницы, отставших в росте под воздействием внутри- и межвидовой конкуренции со стороны березы.

Таблица 3

Распределение числа деревьев

<i>x</i>	<i>n</i>	<i>x – M</i>	<i>t = (x – M)/σ</i>	$\psi(x)$	<i>n1</i>
<i>Лиственница</i>					
8	34	–9,66	–1,35	0,160	19
12	41	–5,66	–0,79	0,292	35
16	45	–1,66	0,23	0,389	46
20	31	2,34	0,33	0,378	45
24	33	6,34	0,89	0,269	32
28	16	10,34	1,44	0,142	17
32	8	14,34	2,00	0,054	6
36	4	18,34	2,56	0,015	2
<i>Итого</i>	212			1,699	202
<i>Сосна</i>					
12	12	–10,96	–1,80	0,079	8
16	25	–6,96	1,14	0,208	22
20	35	–2,96	0,49	0,353	37
24	35	1,04	0,17	0,393	42
28	33	5,04	0,83	0,283	30
32	18	9,04	1,48	0,133	14
36	2	13,04	2,14	0,040	4
40	1	17,04	2,80	0,008	1
<i>Итого</i>	161			1,497	158

Примечания: 1. *x* – значение признака (ступень толщины диаметра ствола на высоте 1,3 м), *n* – фактическая частота, *n1* – выравненная частота, *M* – среднее значение признака, *N_c* – размер ступени толщины, *t* – нормированное отклонение, ψ – находят по формуле Г.Н. Зайцева [1]. 2. Для лиственницы: $M = 17,66$, $\sigma = 7,16$, $N_c/\sigma = 118,44$; для сосны: $M = 22,96$, $\sigma = 6,09$, $N_c/\sigma = 105,75$.

График распределения деревьев березы (рис. 1, в, г) имеет двухвершинный вид ($A = -1,35 \pm 0,98$) и является свидетельством сложных взаимоотношений лиственницы и березы: накопление отставших в росте деревьев происходило как у лиственницы, так и у березы. При этом средний диаметр был выше у более быстро растущей березы.

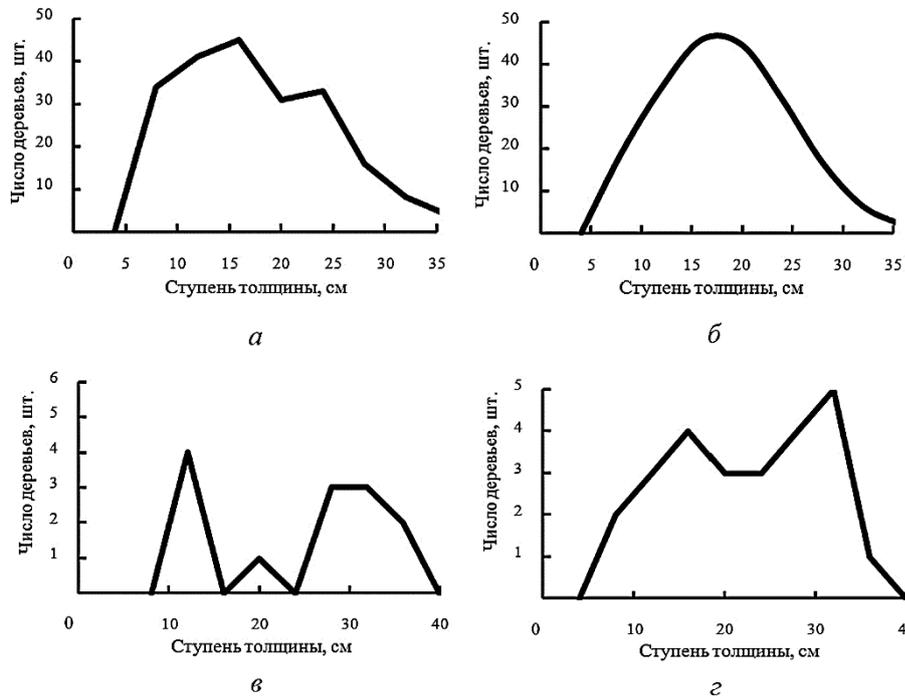


Рис. 1. Фактическое (а) и теоретическое (б) распределение по диаметру ствола на высоте 1,3 м деревьев лиственницы (а, б) и фактическое распределение деревьев березы (в, г) в культурах лиственницы (в) и сосны (г)

Обладающая более быстрым ростом (в сравнении с лиственницей) сосна (рис. 2) в условиях сосняка травяного сформировала древостой, характеризующийся симметричностью распределений ($A = 0,05 \pm 0,19$), а береза – древостой с еще более выраженной двухвершинностью в сравнении с распределением в культурах лиственницы. Такие особенности распределений объясняются более сильной, в сравнении с лиственницей, конкурентной способностью сосны взаимодействовать с березой.

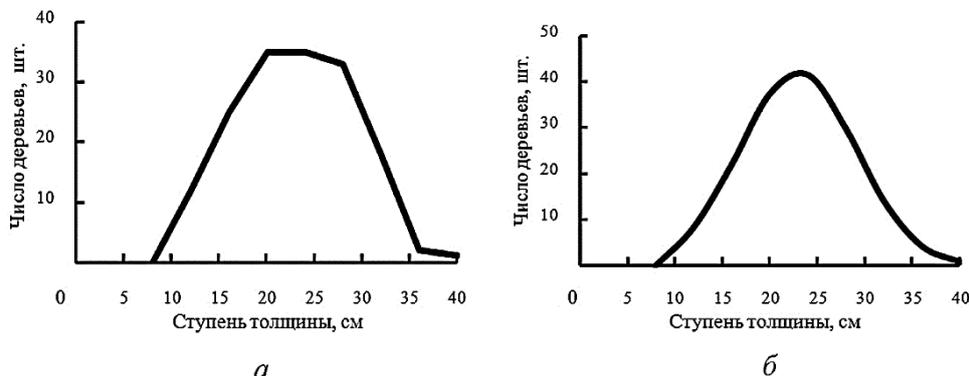


Рис. 2. Фактическое (а) и теоретическое (б) распределение деревьев сосны по диаметру ствола на высоте 1,3 м

Деревья лиственницы, сосны и березы, сформировавшиеся в условиях высокой густоты стояния на протяжении длительного периода времени, отличаются хорошей очищаемостью от сучьев и высокой полндревесностью.

Выводы

1. Создание чистых культур лиственницы в лесорастительных условиях сосняка травяного не позволяет достичь превосходства в продуктивности над чистыми культурами сосны, традиционно создаваемыми в этих лесорастительных условиях. Культуры лиственницы здесь способствуют повышению биологического разнообразия лесов и их социальной значимости.

2. Культуры лиственницы, в отличие от культур сосны, к 60-летнему возрасту не достигли количественной и технической спелости. Срок выращивания культур лиственницы необходимо продлить на один класс возраста. При этом оборот рубки сокращается не менее чем на 20 лет в сравнении с лиственничниками естественного происхождения.

3. Береза в составе древостоев культур сосны и лиственницы в возрасте 60 лет достигает оптимальных размеров для использования в качестве сырья для фанерного производства, заготовка которого должна производиться в процессе изреживания при проведении проходных рубок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Зайцев Г.Н.* Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М.: Наука, 1984. 424 с.
2. *Прокопьев М.Н.* Продуктивность культур сосны и лиственницы в подзонах южной и средней тайги // Лесн. хоз-во. 1983. № 1. С. 32–35.
3. *Харитонов Г.А., Видякова А.Л.* Культуры лиственницы на Среднем Урале // Лесн. журн., 1965. № 3. С. 3–7. (Изв. высш. учеб. заведений).
4. *Чернов Н.Н.* Лесные культуры на Урале, Екатеринбург: УГЛТУ, 1998, Т.1. 570 с.
5. *Чернов Н.Н.* Лесокультурное дело на Урале: становление, состояние, пути дальнейшего развития. Екатеринбург: УГЛТУ, 2002. 320 с.
6. *Чернов Н.Н.* Лесные культуры. Екатеринбург: УГЛТУ, 2003. 151 с.

Поступила 15.12.13

Comparative Growth of Artificial Pine and Larch Stands in Herb Pine Forests

V.V. Kostyshev, Postgraduate Student

The Ural State Forest Engineering University, Sibirskiy trakt, 37, Yekaterinburg, 620100, Russia
E-mail: kostyshev@yandex.ru

We studied 60-year-old trees after their transition from the polewood phase, which coincides with the end of intensive loss of planted trees and is characterized by rapid accumulation of bodywood mass in the stem formation phase. This allows us to determine the prospects of stand formation to maturity.

The paper aimed to compare the efficiency of pure pine and larch stands using variation statistics; reveal the differences in the growth of planted trees by diameter, and show the effect produced by birch in the stand composition.

Pure larch stands being planted in herb pine forests are less productive than pure pine stands, traditionally grown in these conditions. Larch stands, unlike the pine ones, had by 60 years' age not matured either in terms of quantity or technical exploitability; the period of larch growing has to be extended by one age-class. 60-year-old birch trees in pine and larch stands reach the optimal size to be used as a raw material in plywood production, which should be harvested in the process of thinning prior to accretion cutting.

Keywords: pine, larch, artificial stands, growth, variability of forest inventory indices.

REFERENCES

1. Zaytsev G.N. *Matematicheskaya statistika v eksperimental'noy botanike* [Mathematical Statistics in Experimental Botany]. Moscow, 1984. 424 p.
 2. Prokop'ev M.N. Produktivnost' kul'tur sosny i listvennitsy v podzonakh yuzhnoy i sredney taygi [Productivity of Pine and Larch Artificial Stands in Southern and Middle Taiga Subzones]. *Lesnoe khozyaystvo*, 1983, no. 1, pp. 32–35.
 3. Kharitonov G.A., Vidyakova A.L. Kul'tury listvennitsy na Srednem Urale [Larch Artificial Stands in the Middle Urals]. *Lesnoy zhurnal*, 1965, no. 3, pp. 3–7.
 4. Chernov N.N. *Lesnye kul'tury na Urale* [Artificial Stands in the Urals]. Yekaterinburg, 1998, vol. 1, 570 p.
 5. Chernov N.N. *Lesokul'turnoe delo na Urale: stanovlenie, sostoyanie, puti dal'neyshego razvitiya* [Silviculture in the Urals: Establishment, Present State and Ways of Further Development]. Yekaterinburg, 2002. 320 p.
 6. Chernov N.N. *Lesnye kul'tury* [Artificial Stands]. Yekaterinburg, 2003. 151 p.
-

УДК 630*187:582.475:630*221.01:581.131(1-924.82)

РОЛЬ РАСТИТЕЛЬНОГО ОПАДА В ФОРМИРОВАНИИ ЛЕСНОЙ ПОДСТИЛКИ НА ВЫРУБКАХ ЕЛЬНИКОВ СРЕДНЕЙ ТАЙГИ*

© *Н.В. Лиханова, соискатель*

Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, ул. Коммунистическая, 28, г. Сыктывкар,
Россия, 167982

E-mail: lihanad@mail.ru

Рассматривается процесс деструкции растительных остатков на 4–6-летних вырубках после сплошнолесосечной рубки ельников средней тайги. Определена динамика поступления и разложения растительного опада. Дана оценка процессов минерализации растительных остатков органогенного горизонта. Выявлены запасы лесной подстилки на вырубках ельников черничного влажного и долгомошно-сфагнового. Масса органического вещества, поступающего в почву с растительным опадом фитоценозов, на вырубке ельника черничного влажного составляет 3115, долгомошно-сфагнового – 3608 кг/га, из них 55...60 % приходится на опад надземных органов. Основную массу опада (89 %) образуют растения напочвенного покрова – мхи и травянистые растения. По интенсивности разложения в убывающем порядке следуют: листья березы > листья брусники > хвоя сосны > хвоя ели > мхи > ветви > кора. Наиболее интенсивно разлагается опад листьев березы, показатель C/N (соотношение углерод/азот) которого составляет 35...38. У хвои ели и сосны этот показатель изменяется от 38 до 43, у ветвей древесных растений – от 48 до 60, у коры – от 105 до 142.

Разложение подстилки наиболее активно происходит в листовом подгоризонте: на вырубке ельника черничного влажного в год составляет 17,3, на вырубке ельника долгомошно-сфагнового – 15,4 %. В ферментативном подгоризонте за год разлагается 10,4 и 9,3 % органического вещества растительных остатков соответственно. В гумусированном подгоризонте деструкция растительных остатков происходит медленно (около 7 %). Невысокая скорость разложения мертвых растительных остатков на вырубке ельника черничного влажного способствует формированию довольно мощной лесной подстилки (толщина 12,0 см) с общим запасом органического вещества 47,5 т/га, на вырубке ельника долгомошно-сфагнового – соответственно 18,7 см и 63,9 т/га.

Ключевые слова: средняя тайга, ельник, опад, разложение, рубка, лесная подстилка.

В лесной биогеоценологии подстилка рассматривается как самостоятельный биогоризонт, который служит связующим звеном между растительностью и почвой. Она содержит достаточно большую лесоводственную и почвенно-генетическую информацию о развитии экосистем [7, 11]. Изменения мощности и химического состава лесной подстилки являются наиболее заметными проявлениями биологического круговорота веществ в лесных сообществах. Особенно это значимо для северных регионов лесной зоны, где недостаток тепла, повышенная влажность почв в большинстве типов леса обуславливают низкую интенсивность минерализации растительного опада и накопление достаточно мощной подстилки [2, 3, 6, 13, 17, 18, 25, 26].

* Работа выполнена под руководством д.б.н., проф. К.С. Бобковой.

Известно, что в лесных экосистемах изменения, вызываемые хозяйственной деятельностью, ведут к нарушению биологического круговорота веществ. В антропогенно нарушенных лесных сообществах формируется более простая по морфологическому строению лесная подстилка, чем в коренных хвойных биогеоценозах. Данных о формировании лесной подстилки в еловых экосистемах таежной зоны достаточно [2, 4, 5, 7, 10, 17]. Согласно данным этих исследователей запасы лесной подстилки в ельниках в зависимости от типов условий произрастания варьируют от 20,0 до 75,0 т/га. Однако работы, характеризующие лесную подстилку на вырубках ельников, фрагментарны [8, 22, 23].

Цель данной работы – изучение формирования лесной подстилки на вырубках после сплошнолесосечной рубки ельников средней тайги. При этом решались следующие задачи: определение динамики поступления и разложения растительного опада; оценка процессов минерализации растительных остатков органогенного горизонта и выявление запасов лесной подстилки на 4–6-летних вырубках ельников черничного влажного и долгомошно-сфагнового.

Исследования проводили в подзоне средней тайги в Республике Коми, на территории Чернамского лесного стационара Института биологии Коми научного центра УрО РАН (62°01' с.ш., 52°28' в.д.) в период 2009–2012 гг. на вырубках ельников черничного влажного и долгомошно-сфагнового, развивающихся на торфянисто-подзолисто-глееватых супесчаных на суглинках почвах. Сплошнолесосечная рубка была проведена в зимний период 2006 г., применен трехпасечный способ разработки лесосек с сохранением подроста. Ширина пасечных участков равна 30 м, трелевочных волоков – 10 м, срок примыкания лесосек составляет 6 лет [15, 21].

На вырубке ельника черничного влажного число растущих деревьев, оставленных в качестве тонкомерных в недорубе и семенников, составляет 400, в том числе ели (*Picea obovata*) – 295, березы (*Betula pubescence*, *B. pendula*) – 100, сосны (*Pinus sylvestris*) – 5 экз/га. Сухостойных деревьев – 30 экз./га. Равномерно распространенный подрост 8385 экз./га имеет состав БЕЗБ1РедСОСИ. Он представлен в основном категориями мелкой и средней крупности. Травяно-кустарничковый ярус с общим проективным покрытием (ОПП) 60 % пасечных участков образован черникой (*Vaccinium myrtillus*), брусникой (*Vaccinium vitis-idaea*), линнеей северной (*Linnaea borealis*), майником (*Maianthemum bifolium*), осокой шаровидной (*Carex globularis*), хвощом (*Equisetum sylvaticum*), луговиком извилистым (*Deschampsia flexuosa*). Моховый покров с ОПП 80...90 % формируют *Pleurozium schreberi* и *Sphagnum wulfianum*, *S. girgensohnii*, *S. russowi*, пятнами встречаются *Polytrichum commune* и *Hylocomium splendens*, редко – *Dicranum polysetum*. Травяно-кустарничковый ярус волока с ОПП 50...60 % представлен брусникой, линнеей северной, майником, ожикой волосистой (*Luzula pilosa*), хвощом, луговиком извилистым, иван-чаем (*Chamerion angustifolium*). Моховой покров его с ОПП 20...30 % образуют *Polytrichum commune*, *Sphagnum wulfianum*, *S. girgensohnii*, *S. russowi*, *Pleurozium schreberi*, пятнами – *Dicranum polysetum*.

На вырубке ельника долгомошно-сфагнового количество тонкомерных деревьев ели, сосны, березы и семенников составляет 588 экз./га, сухостойных деревьев – 212 экз./га. Подрост (6788 экз./га) удовлетворительного состояния, состав 7БЗЕ. Ель – предварительного происхождения разной высоты, береза – последующего происхождения в основном мелкой категории высот. На пасечных участках с проективным покрытием 70 % площади произрастают черника, брусника, линнея северная, осока шаровидная, хвощ, луговик извилистый и иван-чай. Моховый ярус почти сплошной, доминирующее положение занимают *Polytrichum commune* и *Sphagnum wulfianum*, *S. girgensohnii*, *S. russowii*, пятнами – *Dicranum polysetum*. Травяно-кустарничковый ярус волока с ОПП около 70 % состоит из брусники, линнеи северной, хвоща, луговика извилистого и иван-чая. Моховой покров с ОПП 60 % состоит из *Polytrichum commune* в сочетании с *Sphagnum girgensohnii*, *S. russowii*, *S. angustifolium*, реже с зелеными мхами.

Количество (массу) опада растений древесного яруса определяли с помощью опадоулавливателей размером 50×50 см в 20-кратной повторности. Опад, собранный дважды (осенью и весной) и разделяли на фракции. Для учета опада кустарничков и мхов по их приросту срезали побеги текущего года на 20 площадках размером 20×20 см. Ежегодную отмирающую массу мхов принимали равной 70, черники – 100, брусники и линнеи – 30 % прироста [20]. Опад корней многолетних растений травяно-кустарничкового яруса в среднем составляет 25 % от общей их массы [24]. Опад подземных частей древесных растений учитывали через массу и продолжительность жизни сосущих и мелких проводящих корней [19].

Для оценки разложения опада в лесную подстилку в пятикратной повторности закладывали растительные остатки опада и лесной подстилки в капроновых мешочках. Подстилку отбирали металлическим шаблоном площадью 98 см² в 20-кратной повторности [20]. Лесную подстилку разделяли на 3 подгоризонта: листовой (L), ферментативный (F) и гумусовый (H).

Содержание углерода и азота в отдельных фракциях опада растительных остатков и подстилки определяли на базе экоаналитической лаборатории «Экоаналит» Института биологии Коми НЦ Уро РАН, аккредитованной в Системе аккредитации аналитических лабораторий (центров) Росстандарта России (аттестат РОСС RU.0001.511257 от 16 апреля 2009 г.). Содержание углерода и азота в растительных и почвенных образцах оценивали методом газовой хроматографии на автоматическом анализаторе EA-1110 фирмы «Carlo Erba» (Италия).

Масса органического вещества, поступающего в почву с опадом надземных органов и корней древесных растений, на 4–6-летней вырубке ельника черничного влажного составляет 366,1; долгомошно-сфагнового – 412,1 кг/га (рис. 1).

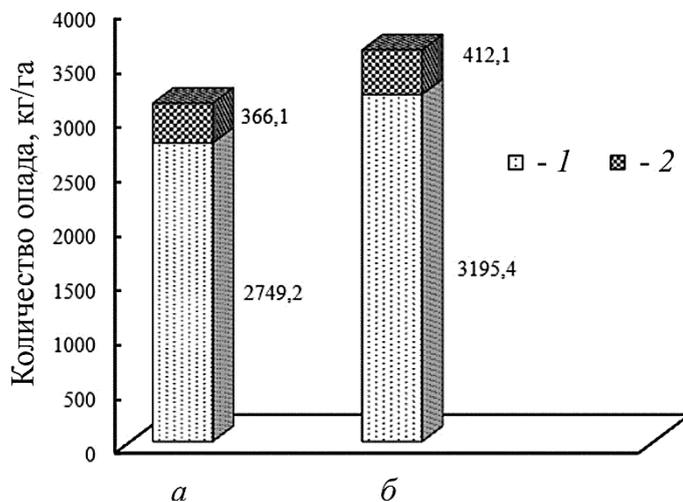


Рис. 1. Количество опада на 4–6-летних вырубках ельников черничного влажного (а) и долгомошно-сфагнового (б): 1 – опад растений напочвенного покрова, 2 – опад древесных растений

На вырубках ельника черничного влажного и долгомошно-сфагнового масса опада в 2011 г. была меньше, чем в 2009 и 2010 гг., что, видимо, определяется разными погодными условиями исследуемого периода. Весна в 2009 и 2010 гг. характеризовалась теплой погодой. Относительно теплый май способствовал быстрому просыханию и прогреванию верхних слоев почвы. В июне и июле была неустойчивая погода: наблюдалась повышенная влажность и на фоне умеренно-холодной погоды отмечались значительные потепления. В августе средняя температура была близка к норме, резкое похолодание произошло во второй декаде августа. Сентябрь и октябрь отличались прохладной погодой, со среднемесячной температурой в пределах нормы.

За вегетационный период осадки распределялись неравномерно: в июне осадков выпало больше нормы, июль был засушливым, с августа по октябрь наблюдался недостаток осадков. Вегетационный период 2011 г. отличался весьма неустойчивой погодой. Теплые периоды мая чередовались со значительными похолоданиями. В жарком июне с недостатком осадков также наблюдались резкие похолодания. Июль характеризовался умеренно теплой и сухой погодой. В августе температура восстановилась до нормы. В летний период наблюдался недостаток осадков. В сентябре и октябре преобладала теплая с кратковременными ливневыми дождями погода. Следовательно, можно предположить, что относительно неблагоприятные климатические факторы в 2011 г. не способствовали развитию листового аппарата растений, который составляет значительную часть массы опада.

Таблица 1
 Годовое количество опада (кг абс. сух. вещества/га) древесного яруса на 4–6-летних вырубках ельников

Компоненты опада	Черничный влажный					Долгомошно-сфагновый				
	2009/10	2010/11	2011/12	$\bar{X} \pm S_x^*$	%**	2009/10	2010/11	2011/12	$\bar{X} \pm S_x^*$	%**
Листья (хвоя):										
ель	96,8	118,7	87,9	101,1±11,7	28	184,3	120,9	83,8	129,7±36,4	31
сосна	16,2	5,6	1,8	7,9±5,6	2	10,5	8,7	2,3	7,2±3,2	2
береза	151,2	116,0	8,7	92,0±55,5	25	96,1	158,5	19,8	91,5±47,8	22
<i>Всего</i>					55					55
Ветви:										
ель	63,4	34,1	34,3	43,9±13,0	12	74,3	42,8	34,9	50,7±15,8	11
сосна	6,2	4,6	9,0	6,6±1,6	2	5,6	7,2	8,1	7,0±0,9	3
береза	7,3	1,0	6,1	4,8±2,5	1	14,3	26,4	24,4	21,7±4,9	5
<i>Всего</i>					15					19
Кора:										
ель	2,9	0,3	–	1,6±1,2	0,5	0,9	0,3	–	0,6±0,3	0,2
сосна	0,1	7,1	4,7	4,0±2,6	1,5	5,6	1,9	2,0	3,2±1,6	0,8
береза	12,7	–	–	12,7±0,0	3,0	–	–	–	–	–
<i>Всего</i>					5					1
Корни:										
ель	54,4	29,3	29,5	37,7±11,1	10	65,8	37,9	30,9	44,9±14,0	11
сосна	3,9	2,9	5,6	4,1±1,0	1	3,5	4,5	5,1	4,4±0,6	1
береза	5,3	1,0	4,4	3,5±1,7	1	7,8	14,4	13,3	11,8±2,7	3
<i>Всего</i>					12					15
Репродуктивные органы:										
сеережки березы	0,3	0,8	13,4	4,8±5,7	1	–	0,7	7,2	4,0±3,0	1
шишки сосны	–	23,3	10,4	16,9±8,0	5	2,7	4,6	8,1	5,1±2,0	1
шишки ели	–	–	–	–	–	–	3,8	–	3,8±0,0	1
<i>Всего</i>					6					3
Лишайники-эпифиты	0,1	5,8	6,7	4,2±2,7	1	0,8	5,1	4,7	3,5±1,8	1
Труха***	0,7	38,5	21,6	20,3±13,0	6	4,3	28,8	36,0	23,0±12,5	6
Итого	421,5	389,0	244,1	366,1±71,6	100	476,5	466,5	280,6	412,1±84,8	100

* Здесь и далее, в табл. 2 и 3, \bar{X} – среднее значение, S_x – ошибка среднего значения.

** Здесь и далее, в табл. 2, процент от общей массы.

*** Измельченные компоненты растительных остатков, которые трудно идентифицировать.

По данным В.Г. Чертовского [23], в условиях Архангельской области на 1–4-летних условно-сплошных вырубках ельника черничного влажного (при сохранении на корню не более 10...20 % общего запаса осины и березы, а также части тонкомера ели) опад хвои и листвы древесных растений не превышает 140...150 кг/га, тогда как ежегодный опад травяно-моховой растительности составляет 4...5 т/га, что на 30...40 % больше, чем на исследуемых среднетаежных 4–6-летних вырубках еловых ценозов Республики Коми.

Выявлено, что в условиях средней тайги в развивающихся фитоценозах на вырубках ельников черничного влажного и долгомошно-сфагнового 60,3 и 55,4 % ежегодного опада древесных растений приходится на надземные органы. Корни составляют соответственно 39,7 и 44,6 % от массы поступающего за год органического вещества. Распределение годичного древесного опада по фракциям на исследуемых вырубках ельников довольно сходное: хвоя – 30...33, листья березы – 22...25, ветви деревьев – 15...19, корни деревьев – 12...15, кора – 1...5 % (табл. 1). В составе древесного опада заметно участие репродуктивных органов. На вырубке ельника черничного влажного шишки ели составляют 5, эпифитные лишайники – около 1, прочие компоненты растительных остатков (труха) – 6 % от общей массы годичного древесного опада.

На вырубках рассматриваемых ельников наблюдается довольно близкое распределение опада древесного яруса по сезонам года. На зимне-весенний опад приходится 52...58, на летний – 20...23, на осенний – 22...25 % от общей массы опада (рис. 2). Анализируя сезонную динамику поступления опада, необходимо отметить, что листья лиственных древесных растений опадают в сентябре и октябре, 65...70 % опавшей за год хвои поступает на поверхность почвы в зимне-весенний период, 20...22 % – в летние месяцы, 12...17 % – осенью. Поступление опада ветвей деревьев распределяется следующим образом, %: 40...50 – в зимне-весенний период, 30...40 – летом, 10...20 – осенью. Неравномерное поступление древесного опада, в свою очередь, оказывает влияние на процесс его разложения на рассматриваемых вырубках. В.Г. Чертовским [23] отмечено, что опад древесных пород на свежих вырубках не играет большой роли в формировании органогенного горизонта, основное участие в этом процессе принимают растения травяно-кустарничкового яруса и мохово-лишайникового покрова. Согласно нашим данным, опад растений напочвенного покрова составляет около 89 % от общего его количества на исследуемых вырубках ельников (см. рис 1).

Так, на вырубке ельника черничного влажного средний годовой опад мхов и травянистых растений равен 612,3 и 393,0 кг/га; на вырубке ельника долгомошно-сфагнового – соответственно 573,9 и 401,0 кг/га (табл. 2). Опад многолетних кустарничков, представленных черникой и брусникой, на вырубке ельника черничного влажного составляет 548,9, ельника долгомошно-сфагнового – 679,5 кг/га в год. Масса опада корней травяно-кустарничкового яруса равна 43...48 % от общей массы опада растений напочвенного покрова исследуемых вырубок. Таким образом, количество органической массы, поступающей в почву с опадом надземных органов и корней всех растений фитоценозов, на 4–6-летних вырубках ельника черничного влажного – 3115, долгомошно-сфагнового – 3608 кг/га в год.

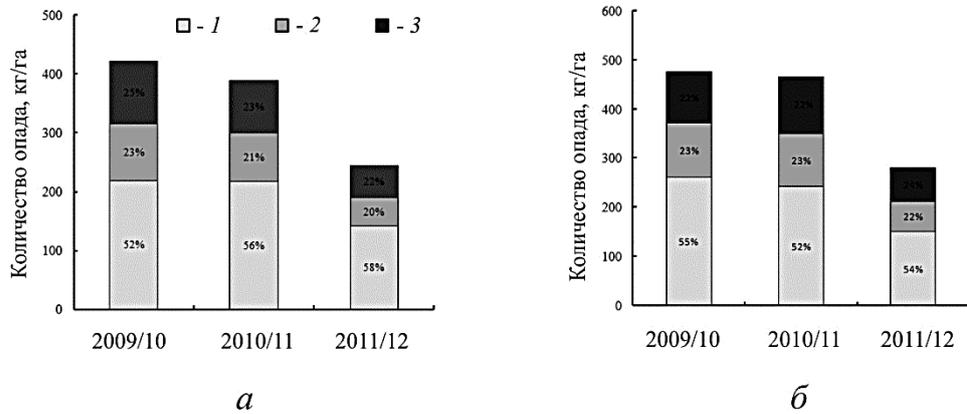


Рис. 2. Поступление древесного опада в годовом цикле на вырубках ельников черничного влажного (а) и долгомошно-сфагнового (б): 1 – ноябрь–май, 2 – июнь–август, 3 – сентябрь–октябрь

Таблица 2

Годовое количество опада (кг абс. сух. вещества/га) растений напочвенного покрова на 4–5-летних вырубках ельников

Компоненты опада	$\bar{X} \pm S_x$	%
<i>Черничный влажный</i>		
Кустарнички:	548,9±5,5	20
черника	521,0±3,0	19
брусника	27,9±0,8	1
Травы	393,0±4,5	14
Корни кустарничков и трав	1195,0±9,8	43
Мхи:	612,3±8,8	22
зеленые	151,9±2,3	5
политриховые	144,0±2,2	5
сфагновые	316,4±4,3	12
Итого	2749,2±16,3	100
<i>Долгомошно-сфагновый</i>		
Кустарнички:	679,5±9,6	21
черника	663,0±8,9	20
брусника	16,5±0,6	1
Травы	401,0±4,3	13
Корни кустарничков и трав	1541,0±9,4	48
Мхи:	573,9±6,5	18
зеленые	61,6±8,1	2
политриховые	118,3±2,3	4
сфагновые	394,0±4,5	12
Итого	3195,4±22,2	100

Наблюдения за разложением растительных остатков проводили в 2010-2011 гг. Известно, что интенсивность разложения растительных остатков определяется массой, составом опада и гидротермическими условиями почв [4, 5, 16]. Результаты показали, что наиболее интенсивно разлагается активная часть опада, к которой относятся листья, хвоя, почечная чешуя, семена и соцветия древесных растений [11].

За первый год наибольшая скорость деструкции наблюдается у листьев березы на вырубках ельников черничного влажного (47,6 %) и долгомошно-сфагнового (40,7 %), за второй год эксперимента – соответственно 58,0 и 54,6 % (табл. 3).

По интенсивности разложения в убывающем порядке следуют: листья березы > листья брусники > хвоя сосны > хвоя ели > мхи > ветви > кора. Существенное уменьшение массы листьев березы отмечено в первый год, в последующий период скорость разложения резко снижается. Для хвои ели и сосны увеличение темпов разложения наблюдается на второй год эксперимента. Компоненты древесного опада, относящиеся к неактивной фракции (ветви, кора, шишки), распадаются очень медленно. Так, потеря массы коры за первый год составляет от 2,2 % у сосны до 11,3 % у березы. Существенную

Таблица 3

Потеря массы (%) при разложении основных компонентов опада и подстилки на вырубках ельников

Компоненты опада, слой подстилки	Черничный влажный		Долгомошно-сфагновый	
	$\bar{X} \pm S_x$			
	1 год	2 года	1 год	2 года
Листья (хвоя):				
береза	47,6±0,7	58,0±0,5	40,7±0,8	54,6±0,5
ель	18,4±1,2	42,1±0,8	19,5±1,2	38,8±0,9
сосна	24,5±0,04	40,9±0,8	27,9±1,0	38,3±0,6
Ветви:				
ель	8,6±0,4	–	9,1±0,9	–
береза	14,0±0,9	–	18,6±0,8	–
сосна	12,1±0,8	–	14,4±0,9	–
Кора:				
ель	3,2±0,4	–	5,8±0,9	–
береза	10,9±1,4	–	11,3±1,4	–
сосна	2,2±0,4	–	3,3±0,6	–
Кустарнички:				
брусника	32,2±1,0	–	40,0±0,8	–
черника	62,1±0,4	–	64,3±0,4	–
Мхи:				
сфагновые	24,7±1,1	–	38,8±0,9	–
политриховые	32,6±1,0	–	42,1±0,8	–
зеленые	31,5±1,0	–	30,5±1,0	–
Слой подстилки:				
L	17,3±1,0	–	15,4±0,04	–
F	10,4±0,7	–	9,3±0,8	–
H	7,3±0,8	–	6,9±0,8	–

роль в формировании подстилки на вырубках ельников на торфянисто-подзолисто-глееватых почвах играет опад мохового яруса. Максимальный удельный вес в структуре опада в них имеют политриховые мхи.

На вырубках наблюдаются сравнительно быстрые темпы разложения брусники в ельниках (32,2 %) черничном влажном и долгомошно-сфагновом (40,0 %). Потеря массы подгоризонтов лесной подстилки варьирует в пределах 6,9...17,3 %. На вырубках обоих типов еловых сообществ органический горизонт сложен из листьев разной степени разложения, в его составе присутствуют корни, ветви и кора деревьев.

Исследования [23] на вырубках ельников черничных влажных Архангельской области показывают, что на свежей вырубке масса лесной подстилки уменьшается. Так, под пологом леса она составляет 42...53, на 4-летней вырубке – 30...40 т/га. В первые годы после рубки на вырубках, особенно долгомошных, характерно увеличение мощности и уменьшение запаса подстилки, что подтверждается и нашими исследованиями. Отмечено увеличение мощности (высоты) подстилки на вырубке ельника черничного влажного от 11,0 [2, 3] до 11,8 см на волоке и 12,2 см на пасечных участках, на вырубке долгомошно-сфагнового ельника – от 17,0 [2, 3] до 18,4 и 19,0 см соответственно (табл. 4). Накоплению мощной подстилки способствует слабая скорость разложения опада в условиях низких положительных температур и высокой влажности [4, 9]. В спелом ельнике черничном влажном запас подстилки (масса ее с 1 га) составляет 54,0, в ельнике долгомошно-сфагновом – 75,1 [3, 4], на вырубках – 47,5 и 63,9 т/га соответственно (табл. 4).

Таблица 4

Характеристика лесной подстилки на 4-летних вырубках ельников

Элемент вырубki	Подгоризонт подстилки	Мощность, см	Масса с 1 га, т	Массовая доля, %		C/N
				C	N	
<i>Черничный влажный</i>						
Пасека	L	6,4	19,38	46,0±1,5	1,39±0,25	33
	F	2,6	10,86	42,9±1,4	1,20±0,22	35
	H	3,2	12,96	26,7±0,9	0,74±0,13	36
	<i>Всего</i>	12,2	43,2±4,2	–	–	35
Волок	L	5,9	2,12	45,4±1,3	1,19±0,15	38
	F	2,4	1,01	41,5±0,8	1,25±0,24	33
	H	3,5	1,19	25,9±0,7	0,70±0,10	37
	<i>Всего</i>	11,8	4,3±3,5	–	–	36
Итого		12,0±1,2	47,5±3,9	–	–	35
<i>Долгомошно-сфагновый</i>						
Пасека	L	9,6	26,58	46,9±1,5	1,36±0,25	34
	F	5,8	20,20	43,1±1,4	1,23±0,22	35
	H	3,6	10,81	42,6±1,4	1,49±0,27	28
	<i>Всего</i>	19,0	57,6±2,4	–	–	33
Волок	L	8,9	3,09	46,0±1,0	1,26±0,23	36
	F	5,5	2,01	42,8±1,4	1,20±0,22	35
	H	3,9	1,20	32,6±0,8	1,09±0,17	29
	<i>Всего</i>	18,4	6,3±4,2	–	–	34
Итого		18,7±1,3	63,9±3,3	–	–	33

Показатель C/N (соотношение углерод/азот) косвенно характеризует степень разложения и гумификации растительных остатков [1]. Наиболее интенсивно разлагаются листья березы, C/N которых составляет 35...38. Это соотношение у хвой ели и сосны варьирует от 40 до 66 (табл. 5). Показатель C/N служит и индикатором биологической деструкции древесины. В условиях Севера разрушение древесины ветвей и сучьев является многоступенчатым процессом, который может много раз прерываться из-за колебаний влажности и температуры и частых понижений последней. Так, если в условиях средней тайги Карелии в первую очередь разлагаются ветви и более мелкие порубочные остатки, то в условиях северной тайги биологическому разрушению подвергаются вначале более крупные порубочные остатки, которые при данных условиях испытывают меньшие колебания влажности и температуры [12].

Таблица 5

**Содержание азота и углерода
в древесном опаде на 4-летних вырубках ельников**

Компоненты опада	N		C	C/N
	% на абс. сух. навеску			
<i>Черничный влажный</i>				
Листья (хвоя):				
ель	1,20±0,15	47,8±1,60	40	
береза	1,42±0,25	49,5±1,60	35	
сосна	1,20±0,22	52,1±1,70	43	
Ветви:				
ель	1,10±0,19	49,9±1,60	45	
береза	1,14±0,20	48,6±1,60	43	
сосна	0,85±0,11	51,1±1,60	60	
Кора:				
ель	0,47±0,08	49,4±1,60	105	
береза	0,50±0,09	66,3±2,00	133	
сосна	0,35±0,06	49,7±1,60	142	
<i>Долгомошно-сфагновый</i>				
Листья (хвоя):				
ель	1,17±1,60	48,6±0,15	42	
береза	1,31±1,60	49,3±0,18	38	
сосна	0,78±1,70	51,6±0,14	66	
Ветви:				
ель	0,98±1,60	49,4±0,20	50	
береза	0,86±1,50	48,3±0,19	56	
сосна	1,06±1,60	50,8±0,16	48	
Кора:				
ель	0,50±0,09	49,9±1,60	100	
береза	0,48±0,08	62,3±1,88	130	
сосна	0,36±0,06	49,2±1,60	137	

Согласно данным [12], в северной тайге Карелии, на сплошных вырубках сосновых сообществ, через год после разложения кора сосны имеет $C/N = 107,4$, ветви – $56,5$, что объясняется большей плотностью остатков разложившейся коры и незначительным содержанием азота. Авторами отмечено, что при проникновении в кору и древесину грибов и личинок насекомых это отношение снижается за счет увеличения содержания азота. Довольно близкие значения C/N получены нами для коры ели, березы, сосны на вырубках ельников черничного влажного (105, 133, 142) и долгомошно-сфагнового (100, 130, 137). У ветвей древесных растений этот показатель составляет $43...60$ (табл. 5).

При расчетах скорости разложения подстилок на вырубках более корректно использовать значение массы их органического вещества [14]. Авторами отмечено, что не всякая убыль массы подстилок на пораненных поверхностях почвы может служить показателем возросшей скорости разложения. Здесь происходит и механическое перераспределение (сдирание) подстилок.

Оценка разложения подстилки показала, что наиболее активно разлагается листовая (L) слой, доля которого на вырубке ельника черничного влажного достигает $17,3$, на вырубке долгомошно-сфагнового – $15,4$ %. В ферментативном слое (F) за год убыль в массе растительных остатков равна $10,4$, в гумусированном (H) – $7,3$ % массы органического вещества подгоризонтов подстилки на вырубке ельника черничного влажного и соответственно $9,3$ и $6,9$ % на вырубке ельника долгомошно-сфагнового. В гумусированном слое разложение происходит довольно медленно. Причинами низкой способности разложения растительных остатков лесной подстилки являются как увеличение влажности почвы после рубки древостоя, так и значительное участие в составе органического вещества подстилки кукушкина льна и сфагновых мхов. Кукушкин лен своими многочисленными ризоидами активно пронизывает подстилку и верхнюю часть подзолистого горизонта. На вырубке ельника черничного влажного в лесной подстилке соотношение C/N составляет в среднем $35,0$ на вырубке ельника долгомошно-сфагнового – $32,7$. В процессе гумификации и минерализации растительных остатков изменяется минеральный состав. Следовательно, для оценки начальной стадии разложения подстилок целесообразно использовать изменение их зольного состава.

Выводы

1. Масса органического вещества, поступающего в почву с опадом растительных фитоценозов на 4–6-летней вырубке ельника черничного влажного составляет 3115 , долгомошно-сфагнового – 3608 кг/га; основную массу опада (89 %) образуют растения напочвенного покрова; $55...60$ % ежегодного опада приходится на надземные органы, прежде всего на хвою и листья.

2. По интенсивности разложения растительные остатки в убывающем порядке следуют: листья березы > листья брусники > хвоя сосны > хвоя ели > мхи > ветви > кора.

3. Разложение подстилки наиболее активно происходит в листовом подгоризонте, в ферментативном горизонте скорость разложения в 1,5 раза ниже, в гумусированном подгоризонте разложение растительных остатков происходит еще медленнее. Невысокая скорость разложения растительных остатков способствует формированию мощной подстилки и уменьшению на 15...20 % ее запаса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аристовская Т.В.* Микробиология подзолистых почв. М.; Л.: Наука, 1965. 183 с.
2. *Бобкова К.С.* Биологическая продуктивность лесов Европейского Северо-Востока. Л.: Наука, 1987. 156 с.
3. *Бобкова К.С.* Биологическая продуктивность и компоненты баланса углерода в заболоченных коренных ельниках Севера // *Лесоведение*. 2007. № 6. С. 45–54.
4. *Богатырев Л.Г.* Образование подстилок – один из важнейших процессов в лесных экосистемах // *Почвоведение*. 1996. № 4. С. 501–511.
5. *Ведрова Э.Ф.* Разложение органического вещества лесных подстилок // *Почвоведение*. 1997. № 2. С. 216–223.
6. *Германова Н.И.* Разложение опада как показатель интенсивности круговорота элементов в лесных насаждениях Южной Карелии // *Лесоведение*. 2000. № 3. С. 30–35.
7. *Дылис Н.В.* Лесная подстилка в биогеоценотическом освещении // *Лесоведение*. 1985. № 5. С. 3–8.
8. *Дымов А.А., Бобкова К.С., Тужилкина В.В., Ракина Д.А.* Растительный опад в коренном ельнике и лиственно-хвойных насаждениях // *Лесн. журн.* 2012. № 3. С. 7–18. (Изв. высш. учеб. заведений).
9. *Замолодчиков Д.Г., Уткин А.И., Коровин Г.Н.* Определение запасов углерода по зависимым от возраста насаждений конверсионно-объемным коэффициентам // *Лесоведение*. 1998. № 3. С. 84–93.
10. *Казимиров Н.И., Морозова Р.М.* Биологический круговорот веществ в ельниках Карелии. Л.: Наука, 1973. 176 с.
11. *Карначевский Л.О.* Пестрота почвенного покрова в лесном биогеоценозе. М.: Изд-во МГУ, 1977. 312 с.
12. *Козловская Л.С., Ласкова Л.М.* Разложение древесных остатков на вырубках в условиях севера // *Лесоводственные и экологические последствия рубок в лесах Карелии*. Петрозаводск: КФ АН СССР, 1986. С. 92–107.
13. *Кузнецов М.А.* Влияние условий разложения и состава опада на характеристики и запас подстилки в среднетаежном чернично-сфагновом ельнике // *Лесоведение*. 2010. № 6. С. 54–60.
14. *Лазарева И.П., Вуоримаа Т.А.* Влияние сплошных рубок леса на свойства песчаных подзолов северной Карелии // *Лесоводственные и экологические последствия рубок в лесах Карелии*. Петрозаводск: КФ АН СССР, 1986. С. 61–79.
15. Лесохозяйственный регламент Чернамского стационара ФГУП «Центрлеспроект». № 6 от 23 апреля 2007. 72 с.
16. *Малишевская В.А.* Динамика опада и скорость его минерализации // *Структура и продуктивность еловых лесов южной тайги*. Л.: Наука, 1973. 311 с.

17. Манаков К.Н., Никонов В.В. Биологический круговорот минеральных элементов и почвообразование в ельниках Крайнего Севера. Л.: Наука, 1981. 196 с.
18. Никонов В.В., Лукина Н.В. Биогеохимические функции лесов на северном пределе распространения. Апатиты: Ин-т проблем пром-ти, 1994. 315 с.
19. Орлов А.Я. Метод определения массы корней деревьев в лесу и возможность учета годичного прироста органической массы в толще лесной почвы // Лесоведение. 1967. № 1. С. 64–70.
20. Родин Л.Е., Ремезов Н.П., Базилевич Н.И. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах. Л.: Наука, 1968. 140 с.
21. Руководство по технологии и организации лесосечных работ при сплошных и несплошных рубках. Сыктывкар: ООО НПФ «Ниокр», 2002. 48 с.
22. Семенова В.Г. Влияние рубок главного пользования на почвы и круговорот веществ в лесу. М.: Лесн. пром-сть, 1975. 184 с.
23. Чертовской В.Г. Долгомошные вырубki, их образование и облесение. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 136 с.
24. Dahlman K.C., Kuceera C.L. Root productivity and turnover in native prairie // Ecology. 1965. Vol. 46. P. 40–48.
25. Dziadowiee H. The decomposition of plant litter fall in an oak-linden-hornbeam forest and oak-pine mixed forest of the Bialowieza National Park // Acta Soc. Bot. Pol. 1987. Vol. 56. P. 169–185.
26. Edmonds R. L. Decomposition rates and nutrient dynamics in small-diameter woody litter in four forest ecosystems in Washington, USA // Can. J. Forest Res. 1987. Vol. 17, N 5. P. 499–509.

Поступила 18.09.13

The Role of Tree Waste in the Litter Layer Formation in Cutting Areas of Middle Taiga Spruce Forests

N.V. Likhanova, Leading Chemical Engineer, PhD Candidate

Institute of Biology, Komi Science Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Kommunisticheskaya, 28, Syktyvkar, 167982, Russia
E-mail: lihanad@mail.ru

The paper studied the degradation of plant residues in 4–6-year-old cutting areas after clear-cutting of middle taiga spruce forests. The dynamics of tree waste fall and decomposition was established. The mineralization of plant residues of the O horizon was evaluated. The density of litter layer in the cutting areas of blueberry and polytric-sphagnum spruce forests was identified. Weight of organic matter, entering the soil with tree waste, in the cutting area of blueberry spruce forest is 3115 kg/ha, polytric-sphagnum – 3608 kg/ha, 55–60 % of which is litter from aboveground organs. The bulk of the tree waste (89 %) is formed by the ground cover plants – moss and grass. The rate of decomposition in descending order is as follows: birch leaves > cowberry leaves > pine needles > spruce needles > moss > branches > bark. The most active decomposition is observed in birch leaves, their C/N (carbon/nitrogen) ratio being 35–38. In spruce and pine needles, this value ranges from 38 to 43, in branches of woody plants – from 48 to 60, and in bark – from 105 to 142.

The most active litter layer decomposition is observed in the subhorizon consisting of leaves: in the cutting area of blueberry spruce forest it is 17.3 % per year and in that of poly-

tric-sphagnum spruce forest – 15.4 %. In the enzymatic subhorizon there are decomposed 10.4 and 9.3 % of organic matter of plant residues per year, respectively. In the humus subhorizon, decomposition of plant residues is rather slow (about 7 %). The low rate of plant residues decomposition in the cutting area of blueberry spruce forest facilitates the formation of a rather thick litter layer (12.0 cm), with a total density of organic matter 47.5 t/ha and capacity of 18.7 cm, the density in the cutting area of polytric-sphagnum spruce forest being 63.9 t/ha.

Keywords: middle taiga, spruce forest, tree waste, decomposition, cutting, litter layer.

REFERENCES

1. Aristovskaya T.V. *Mikrobiologiya podzolistykh pochv* [Microbiology of Podzolic Soils]. Moscow, Leningrad, 1965. 183 p.
2. Bobkova K.S. *Biologicheskaya produktivnost' lesov evropeyskogo Severo-Vostoka* [Biological Productivity of Forests in the European Northeast]. Leningrad, 1987. 156 p.
3. Bobkova K.S. *Biologicheskaya produktivnost' i komponenty balansa ugleroda v zabolochennykh korennykh el'nikakh Severa* [Biological Productivity and Carbon Balance Components in Aboriginal Boggy Spruce Forests of the North]. *Lesovedenie*, 2007, no. 6, pp. 45–54.
4. Bogatyrev L.G. *Образование подстилок – один из важнейших процессов в лесных экосистемах* [Formation of Litter Layer – One of the Most Important Processes in Forest Ecosystems]. *Pochvovedenie*, 1996, no. 4, pp. 501–511.
5. Vedrova E.F. *Razlozhenie organicheskogo veshchestva lesnykh podstilk* [Decomposition of Organic Matter of Forest Litter Layer]. *Pochvovedenie*, 1997, no. 2, pp. 216–223.
6. Germanova N.I. *Razlozhenie opada kak pokazatel' intensivnosti krugovorota elementov v lesnykh nasazhdeniyakh Yuzhnoy Karelii* [Decomposition of Tree Waste as an Indicator of Elements Cycle Intensity in Forest Stands of Southern Karelia]. *Lesovedenie*, 2000, no. 3, pp. 30–35.
7. Dylis N.V. *Лесная подстилка в биогеоценозе* [Forest Litter in the Light of Biogeocenosis]. *Lesovedenie*, 1985, no. 5, pp. 3–8.
8. Dymov A.A., Bobkova K.S., Tuzhilkina V.V., Rakina D.A. *Растительный опад в коренном ельнике и листово-хвойных насаждениях* [Tree Waste in an Aboriginal Spruce Forest and Mixed Stands]. *Lesnoy zhurnal*, 2012, no. 3, pp. 7–18.
9. Zamolodchikov D.G., Utkin A.I., Korovin G.N. *Определение запасов углерода по зависимым от возраста насаждения конверсионно-объемным коэффициентам* [Determination of Carbon Supply by Stand Age-Dependent Conversion-Volume Factors]. *Lesovedenie*, 1998, no. 3, pp. 84–93.
10. Kazimirov N.I., Morozova R.M. *Биологический круговорот веществ в ельниках Karelii* [Biological Circulation of Elements in Spruce Forests of Karelia]. Leningrad, 1973. 176 p.
11. Karpachevskiy L.O. *Pestrota pochvennogo pokrova v lesnom biogeotsenoze* [The Diversity of Soil Cover in Forest Ecosystems]. Moscow, 1977. 312 p.
12. Kozlovskaya L.S., Laskova L.M. *Razlozhenie drevesnykh ostatkov na vyrubkakh v usloviyakh severa* [Decomposition of Tree Waste in Cutting Areas in the North]. *Lesovodstvennye i ekologicheskie posledstviya rubok v lesakh Karelii* [Silvicultural and Ecological Consequences of Logging in the Forests of Karelia]. Petrozavodsk, 1986, pp. 92–107.

13. Kuznetsov M.A. Vliyanie usloviy razlozheniya i sostava opada na kharakteristiki i zapas podstilki v srednetaezhnom chernichno-sfagnovom el'nike [Effect of Decomposition Conditions and Falloff Composition on Litter Reserves and Characteristics in a Bilberry-Sphagnum Spruce Forest of Middle Taiga]. *Lesovedenie*, 2010, no. 6, pp. 54–60.
 14. Lazareva I.P., Vuorimaa T.A. Vliyanie sploshnykh rubok lesa na svoystva peschanykh podzolov severnoy Karelii [Influence of Clear-Cutting on the Properties of Sandy Podzols of Northern Karelia]. *Lesovodstvennye i ekologicheskie posledstviya rubok v lesakh Karelii* [Silvicultural and Ecological Consequences of Logging in the Forests of Karelia]. Petrozavodsk, 1986, pp. 61–79.
 15. Forestry Regulations for Chernamsky Station of the Federal Unitary Enterprise “Tsentrproekt”, no. 6, April 23, 2007. 72 p.
 16. Malishevskaya V.A. Dinamika opada i skorost' ego mineralizatsii [Dynamics of Tree Waste, and Its Mineralization Rate]. *Struktura i produktivnost' elovykh lesov yuzhnoy taygi* [The Structure and Productivity of Spruce Forests in Southern Taiga]. Leningrad, 1973. 311 p.
 17. Manakov K.N., Nikonov V.V. *Biologicheskii krugovorot mineral'nykh elementov i pochvoobrazovanie v el'nikakh kraynego Severa* [Biological Circulation of Mineral Elements and Soil Formation in Spruce Forests of the Far North]. Leningrad, 1981. 196 p.
 18. Nikonov V.V., Lukina N.V. *Biogeokhimicheskie funktsii lesov na severnom predele rasprostraneniya* [Biogeochemical Functions of Forests in the Northern Outreach]. Apatity, 1994. 315 p.
 19. Orlov A.Ya. Metod opredeleniya massy korney derev'ev v lesu i vozmozhnost' ucheta godichnogo prirosta organicheskoy massy v tolshe lesnoy pochvy [Method for Determining the Mass of Tree Roots in the Forest and the Possibility of Recording Annual Organic Mass Increase in the Soil Depth]. *Lesovedenie*, 1967, no. 1, pp. 64–70.
 20. Rodin L.E., Remezov N.P., Bazilevich N.I. *Metodicheskie ukazaniya k izucheniyu dinamiki i biologicheskogo krugovorota v fitotsenozakh* [Methodological Guidelines for Studying the Dynamics and Biological Cycle in Plant Communities]. Leningrad, 1968. 140 p.
 21. *Rukovodstvo po tekhnologii i organizatsii lesosechnykh rabot pri sploshnykh i ne sploshnykh rubkakh* [A Guide to Technology and Organization of Logging Operations at Clear-Cutting and Other Types of Cutting]. Syktyvkar, 2002. 48 p.
 22. Semenova V.G. *Vliyanie rubok glavnogo pol'zovaniya na pochvy i krugovorot veshchestv v lesu* [The Influence of Final Felling on the Soil and Circulation of Elements in the Forest]. Moscow, 1975. 184 p.
 23. Chertovskoy V.G. *Dolgomoshnye vyrubki, ikh obrazovanie i oblesenie* [Haircap Moss Cutting Areas, Their Formation and Afforestation]. Moscow, 1963. 136 p.
 24. Dahlman R.C., Kucera C.L. Root Productivity and Turnover in Native Prairie. *Ecology*, 1965, vol. 46, pp. 84–89.
 25. Dziadowiee H. The Decomposition of Plant Litter Fall in an Oak-Linden-Hornbeam Forest and Oak-Pine Miwed Forest of the Bialowieza National Park. *Acta Soc. Bot. Pol.*, 1987, vol. 56, pp. 169–185.
 26. Edmonds R.L. Decomposition Rates and Nutrient Dynamics in Small-Diameter Woody Litter in Four Forest Ecosystems in Washington, U.S.A. *Can. J. Forest Res.*, 1987, vol. 17, no. 6, pp. 499–509.
-

УДК 581.133.9:581.143:582.632.1

НАКОПЛЕНИЕ L-АРГИНИНА В ХВОЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПО КРОНЕ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ ПРИ РЕГУЛЯЦИИ АЗОТНОГО И БОРНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

© *Е.В. Робонен*¹, *вед. физик*

*Н.П. Чернобровкина*¹, *д-р биол. наук, доц.*

*Т.Н. Макарова*¹, *вед. химик*

*В.П. Короткий*², *чл.-кор. МАНЭБ, директор НТЦ «Химинвест»*

*Ю.Н. Прытков*³, *д-р с.-х. наук, проф.*

*С.С. Марисов*⁴, *асп.*

¹ Институт леса Карельского научного центра РАН, ул. Пушкинская, 11, г. Петрозаводск, Россия, 185910

E-mail: er51@bk.ru

² ООО НТЦ «Химинвест», ул. Нижне-Волжская набережная, 6/1, г. Нижний Новгород, Россия, 603001

E-mail: himinvest@sandy.ru

³ Аграрный институт Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарева, ул. Росийская, 31, п. Ялга, г. Саранск, Россия, 430904

E-mail: agro-inst@adm.mrsu.ru

⁴ Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, пр. Гагарина, 97, г. Нижний Новгород, Россия, 603107

E-mail: himinvest@sandy.ru

Значительное количество биологически активных веществ древесной зелени сосны составляют водорастворимые фракции, к которым относятся и свободные аминокислоты, использующиеся при лечении многих заболеваний. Содержание и состав свободных аминокислот в растении варьирует в широких пределах в связи с обеспеченностью элементами минерального питания. Повышение уровня аминокислот в растительном сырье и изменение их количественного соотношения в соответствии с конкретными задачами можно осуществлять путем регуляции режима минерального питания растений. При внесении только азотных удобрений у хвойных происходит накопление аминокислот с высоким содержанием азота. Аргинин является основной аминокислотой для запасаания азота у многих хвойных. Качественный и количественный состав свободных аминокислот в хвое может варьировать в пределах кроны и зависеть от сроков внесения удобрений, что важно учитывать при заготовке растительного материала.

Цель работы – изучение влияния сроков внесения удобрений на накопление L-аргинина в хвое и его распределение в кроне сосны обыкновенной. Экспериментальный участок находился на юге Карелии, в 10-летнем молодняке сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) естественного возобновления. Для построения распределения L-аргинина в кроне на модельном участке в почву в третьей декаде августа вно-

сили азот в количестве 50,00 г/м² в виде сухой аммиачной селитры и бор в количестве 0,25 г/м² в виде водного раствора борной кислоты. Для оптимизации сроков на опытных участках в почву вносили азотные и борные удобрения в первой декаде июня, третьих декадах июля и августа. С учетом показателей, характеризующих соотношение масс хвои и стеблей в зависимости от положения в кроне дерева, а также распределения *L*-аргинина по мутовкам, можно рекомендовать сбор хвои первого и второго годов со 2-й – 4-й мутовок дерева. Внесение удобрений в первой декаде июня наиболее эффективно при заготовке обогащенной *L*-аргинином хвои сосны обыкновенной в осенне-зимний период.

Ключевые слова: минеральное питание, азот, бор, *L*-аргинин, *Pinus sylvestris* L.

Ежегодно в Республике Карелия вырубается около 30 тыс. га лесов (около 2/3 сосняки, 1/3 ельники), что приводит к образованию отходов в виде древесной зелени сосны (100...240 тыс. т) и ели (100...200 тыс. т). Древесная зелень и кора хвойных содержат комплекс веществ, обладающих высокой биологической активностью и представляющих практически все классы органических соединений, обнаруженных в растениях [15]. Успехи химии природных соединений и биотехнологии за последние десятилетия расширили возможности применения экстрактивных веществ, получаемых из растительного сырья, во многих областях медицины, ветеринарии, пищевой, парфюмерно-косметической, химической промышленности и сельском хозяйстве [3]. Ведутся работы по созданию новых, более эффективных лекарственных форм для ветеринарии, принципиально новых технологий их производства на основе природных соединений биомассы дерева [13]. В практике животноводства начинают использовать кормовые биологически активные добавки, восполняющие недостаток необходимых элементов питания – белков, витаминов, макро- и микроэлементов [6]. Вся история фармации и фармакологии свидетельствует о приоритетности соединений природного происхождения в ходе создания и применения лекарственных веществ самого разнопланового действия [12]. В качестве недостатка природных лекарственных соединений отмечают ограниченность природных источников, крупномасштабное использование которых может привести к экологическим проблемам. Использование древесной зелени, напротив, способствует решению, в том числе и природоохранных задач [5]. Значительное количество (до 30%) биологически активных веществ древесной зелени сосны составляют водорастворимые фракции, к которым относятся и свободные аминокислоты [18], используемые при лечении многих заболеваний. *L*-аргинин относится к группе полунезаменимых аминокислот и играет важную роль в жизнедеятельности организма, являясь предшественником оксида азота (NO), обладающего широким спектром биорегуляторных действий [2, 4, 9]. Разработана композиция *L*-аргинина в сочетании с растительными компонентами, синергически индуцирующая синтез NO и способствующая системной сосудистой релаксации [27]. Различные виды животных имеют разную способность к эндогенному синтезу *L*-аргинина и диетическую потребность в нем. Высокой потребностью

в *L*-аргинине отличаются хищные животные, рыбы, домашняя птица [19, 20]. Повышение в растительном сырье уровня доступных для усвоения аминокислот, обладающих высокой биологической активностью, и изменение их количественного соотношения в соответствии с конкретными задачами можно осуществлять путем регуляции минерального питания растений. Количественно наиболее важным элементом питания растений, одной из основных составляющих таких важнейших соединений, как хлорофилл, нуклеиновые кислоты, аминокислоты, пептиды, белки, является азот [29]. Из почвы растения поглощают азот как в минеральной, так и в органической форме (аминокислоты, пептиды и белки) [26]. Разбалансированность минерального питания хвойных растений приводит к изменению состава свободных аминокислот в их тканях [21, 22, 24, 25]. При избытке азота и дефиците фосфора у хвойных происходит накопление аминокислот с высоким содержанием азота (аргинин, лизин и орнитин). Ранее нами было показано стимулирующее влияние бора на накопление *L*-аргинина у сосны обыкновенной на фоне высокого обеспечения азотом и дефицита других элементов питания [17]. Качественный и количественный состав свободных аминокислот, в том числе *L*-аргинина, в хвое может варьировать в пределах кроны, имеет сезонную, суточную динамику, зависит от внешних воздействий [11, 16, 24, 25].

Крона дерева представляет собой большую, сложную, динамичную, морфологически и физиологически целостную систему. Исследованию ее структуры и развития у лесных древесных растений уделялось значительное внимание исследований [1, 14]. С точки зрения сбора растительного материала для дальнейшего использования в практических целях, важно выявить закономерности распределения *L*-аргинина в хвое в зависимости от расположения ее в кроне дерева. Качество полученного растительного материала (хвойная лапка, обогащенная *L*-аргинином, включающая как хвою, так и стебли) зависит также от доли (по массе), приходящейся на хвою. Одним из показателей при разработке технологии повышения уровня *L*-аргинина у хвойных растений является выявление сроков внесения азота и бора в почву.

Цель работы – изучение распределения *L*-аргинина в кроне сосны обыкновенной при внесении в почву азота в высокой и бора в оптимальной дозах и влияние сроков внесения на накопление *L*-аргинина в хвое.

Исследования проводили в 10-летнем молодняке сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) естественного возобновления, сформировавшемся на расчищенной 10 лет назад трассе ЛЭП. Напочвенный покров при работах по расчистке был уничтожен с образованием «техногенного» ландшафта. Почва участков песчаная, напочвенный покров бедный (редкий) или отсутствовал.

На модельном участке в третьей декаде августа на 1 м² почвы вносили 50,00 г азота в виде сухой аммиачной селитры и 0,25 г бора в виде водного раствора борной кислоты. В апреле на опытном участке для построения распределения массы хвои по кроне отбирали 5 модельных деревьев высотой 2...4 м, определяли сырую массу хвои ($m_{x_{ijn}}$) и стеблей ($m_{c_{ijn}}$) отдельно по

возрастам (i) для каждой мутовки (j) у каждого дерева (n), отбирали навески для определения влажности и расчета сухой массы по стандартной методике, выражали массу в процентах ($m'_{x_{ij}}$) от общей массы охвоенной части кроны каждого дерева (без учета ствола и неоховоенной части ветвей), полученной суммированием, и рассчитывали для выборки деревьев средние значения ($m'_{x_{\text{средн}}}$). Построение распределения хвои по кроне проведено в относительных единицах, что позволило обобщить данные, полученные на деревьях, отличающихся по высоте и массе кроны, но имеющих одинаковое количество живых мутовок. Концентрацию L -аргинина в хвое определяли отдельно по годам, мутовкам и деревьям ($a_{x_{ijn}}$, мкг/мг), умножали на соответствующую массу хвои ($m_{x_{ijn}}$), определяли сумму L -аргинина, содержащуюся в хвое каждой мутовки для каждого дерева (A_{jn}), рассчитывали долю, приходящуюся на мутовку в процентах от суммы по дереву, что позволило построить распределение L -аргинина в кроне для каждого дерева на общем графике.

Для оптимизации сроков внесения удобрений в мае было заложено три опытных и один контрольный участок (площадь каждого 50 м^2). На опытных участках в почву в первой декаде июня, третьих декадах июля и августа вносили азот ($70,00 \text{ г/м}^2$) в виде сухой аммиачной селитры и бор ($0,25 \text{ г/м}^2$) в виде водного раствора борной кислоты. На контрольном участке азот и бор в почву не вносили. В сентябре–декабре с третьих мутовок деревьев опытных и контрольного участков отбирали образцы хвои по годам отдельно и фиксировали методом лиофилизации. Экстракцию аминокислот из хвои проводили горячей (60° C) водой. Содержание L -аргинина в хвое определяли по методу Сакагучи [23].

Распределение массы хвои по кроне (от общей массы охвоенной части кроны дерева, но без учета стволовой части и скелетных неоховоенных ветвей), построенное по данным 5 модельных деревьев (рис. 1), показало, что большая часть хвои первого года располагается на 2-й – 4-й мутовках (49,6 % от суммы хвои в кроне и 77,8 % от хвои первого года

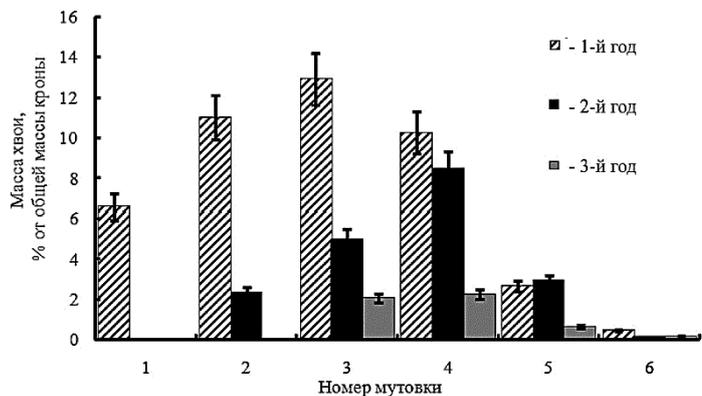


Рис. 1. Распределение массы хвои по кроне 10-летних деревьев сосны обыкновенной при избыточном обеспечении азотом ($50,00 \text{ г/м}^2$) и оптимальном обеспечении бором ($0,25 \text{ г/м}^2$), внесенных в почву в третьей декаде августа (массу хвои и побегов определяли в конце апреля)

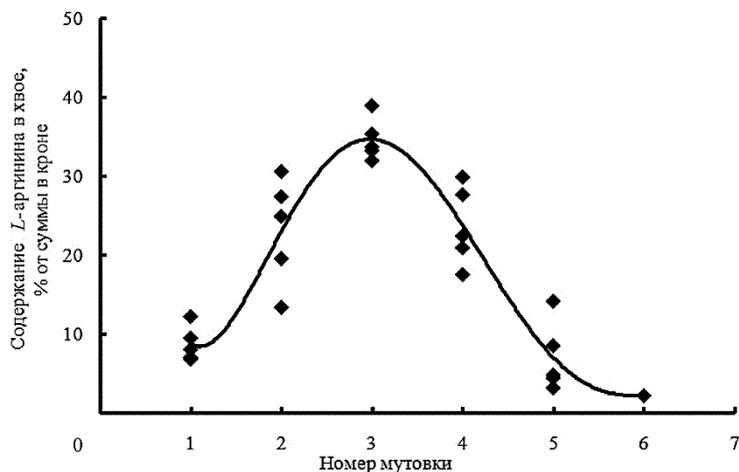


Рис. 2. Распределение содержания *L*-аргинина хвои по кроне 10-летних деревьев сосны обыкновенной при избыточном обеспечении азотом ($50,00 \text{ г/м}^2$) и оптимальном опеспечении бором ($0,25 \text{ г/м}^2$), внесенных в почву в третьей декаде августа (массу хвои и содержание *L*-аргинина в ней определяли в конце апреля)

в кроне), второго года – на 3-й – 4-й мутовках (19,5 % от суммы хвои в кроне и 71,2 % от хвои второго года в кроне), а первого – третьего годов в сумме – на 3-й – 4-й мутовках (59,4 % от суммы хвои в кроне). В сумме масса хвои первого – третьего годов составила 69 % массы охвоенной части кроны.

Исследование распределения *L*-аргинина в хвое трех лет жизни по мутовкам 10-летней сосны обыкновенной, под которую были внесены азот и бор, показало, что аминокислота накапливалась преимущественно в хвое 2-й – 4-й мутовок (рис. 2).

При сборе растительного материала с деревьев в качестве сырья для получения органических соединений важным является показатель, характеризующий соотношение массы органов в кроне дерева по мутовкам. Закономерности распределения фракций фитомассы в кроне активно исследовались [10, 14]. Показано, что для молодых деревьев характерен ярко выраженный акропетальный градиент вегетативного роста побегов. По направлению от вершины и периферии кроны уровень разнообразия и средний размер побегов сокращаются сначала очень резко, затем плавно [1]. Для оценки качества полученного растительного материала (хвойная лапка, обогащенная *L*-аргинином, включающая как хвою, так и стебель) определяли долю массы хвои в побеге (m_x/m_c) по годам в зависимости от положения в кроне (рис. 3).

Для побегов первого года жизни этот показатель увеличивался от вершины дерева к основанию от 1,1 на 1-й мутовке до 7,2 на 6-й мутовке, для побегов второго года – от 0,5 до 6,0 (рис. 3). Отношение массы хвои третьего

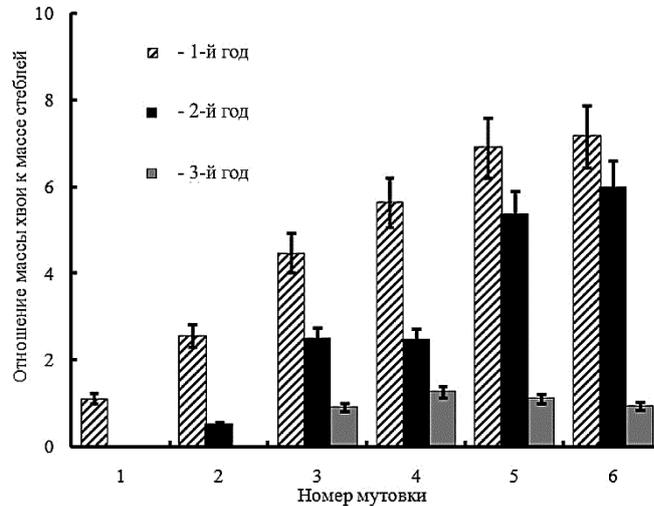


Рис. 3. Отношение массы хвои первого – третьего годов к массе стеблей соответствующего возраста по мутовкам 10-летних деревьев сосны обыкновенной

года жизни к массе стеблей того же возраста не изменялось заметно по мутовкам дерева и имело низкие значения. Масса хвои первого и второго годов жизни со 2-й – 4-й мутовок дерева в сумме составляла 50 % от общей массы охвоенной части кроны и содержала 78,0 % *L*-аргинина, накопленного в хвое всей кроны. С учетом хвои третьего года на 2-й – 4-й мутовках содержалось до 83,6 % *L*-аргинина кроны. На основании полученных данных можно заключить, что при заготовке хвойной лапки, обогащенной *L*-аргинином, наиболее целесообразно отбирать хвою первого и второго годов жизни со 2-й – 4-й мутовок дерева.

Среднее за период с конца сентября до середины декабря содержание *L*-аргинина в хвое 10-летней сосны обыкновенной в контроле (без внесения удобрений) составляло 0,1 ... 0,2 % от сухой массы (рис. 4), а при внесении азота и бора в почву в первой декаде июня оно было в 23 раза больше у хвои первого года, в 6 раз – у хвои второго года. *L*-аргинин является подвижной формой азота, позволяющей регулировать содержание его минеральных форм, выполняет запасную функцию азота в хвойных растениях [11, 22, 24]. Запас *L*-аргинина в органах хвойных растений обеспечивает азотом процессы их раннего весеннего роста и сезонного развития.

При июльском внесении удобрений в почву *L*-аргинин преимущественно накапливался в хвое первого года. К концу сентября его концентрация в хвое опытных деревьев в 10 раз превосходила концентрацию в хвое первого года у контрольных деревьев, в двух- и трехлетней хвое – соответственно в 8 и 3 раза. Наименьшее количество *L*-аргинина успело накопиться к концу сентября – середине декабря при внесении удобрений в почву в третьей декаде

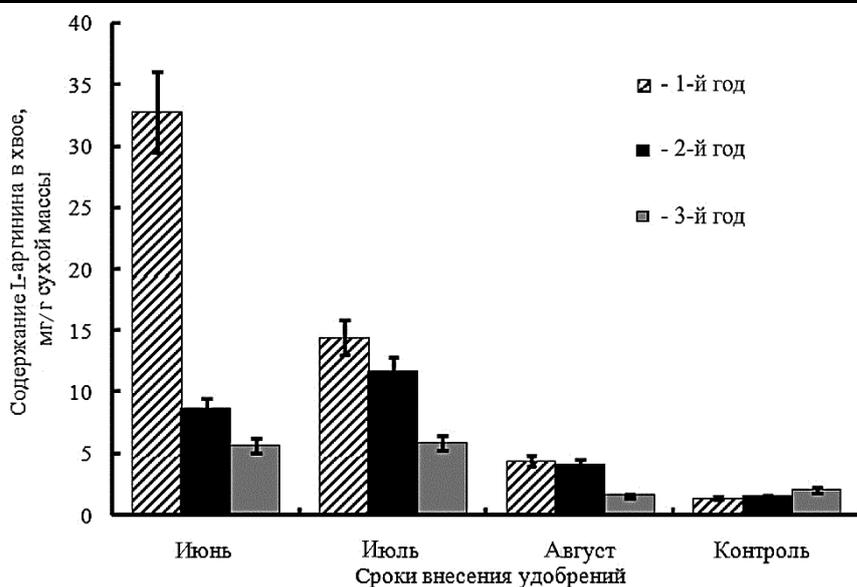


Рис. 4. Зависимость концентрации *L*-аргинина в хвое 10-летних деревьев сосны обыкновенной в осенне-зимний период (сентябрь–декабрь) от сроков внесения удобрений в почву (азот – 70,00 г/м²; бор – 0,25 г/м²)

августа. Содержание *L*-аргинина в одно- и двухлетней хвое повышалось в 3 раза, в трехлетней хвое оставалось на уровне контроля. Эксперимент по выявлению зависимости накопления *L*-аргинина в хвое сосны обыкновенной от сроков внесения удобрений убедительно показал, что при сборе растительного сырья в осенне-зимний период наиболее эффективным из исследованных является вариант внесения удобрений в июне.

Следует подчеркнуть, что рекомендуемый способ внесения удобрений не является способом ухода в целях повышения продуктивности древостоя. Относительно доз внесения удобрений под сосну имеется обширная литература [8, 16]. Недавними исследованиями, в частности, показано, что поток ассимилятов, направляемый от кроны 14-летних деревьев сосны обыкновенной к корням и почвенной биоте снижался на 60 % через год после внесения азотных удобрений [28]. Повышенная доза азота в первый год у сосны нарушала ассимиляцию CO₂, отток из хвои углеродных продуктов и в целом вела к снижению продуктивности деревьев [7].

С учетом показателей, характеризующих долю массы хвои к массе стеблей в зависимости от положения в кроне дерева, а также распределения *L*-аргинина по мутовкам, можно рекомендовать заготовку хвои первого и второго годов со 2-й – 4-й мутовки дерева. Внесение удобрений в первой декаде июня наиболее эффективно для накопления *L*-аргинина в хвое сосны обыкновенной в осенне-зимний период.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Горошкевич С.Н.* Пространственно-временная и структурно-функциональная организация кроны кедра сибирского: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Томск, 2011. 61 с.
2. *Граник В.Г.* Метаболизм L-аргинина (обзор) // Хим.-фарм. журн. 2003. Т. 37, № 3. С. 3–20.
3. *Журавлева Л.Н.* Переработка древесной зелени хвойных с использованием сжиженных углеводородов: автореф. ... канд. техн. наук: Красноярск, 2005. 24 с.
4. Использование нингидриновой реакции для количественного определения α -аминокислот в различных объектах: метод. рек. / А.В. Симонян, А.А. Саламатов, Ю.С. Покровская, А.А. Аванесян. Волгоград: ВолГГМУ, 2007. 106 с.
5. Источники получения древесной зелени для производства аргининового иммуностимулятора / Е.В. Робонен, Н.П. Чернобровкина, О.В. Чернышенко, М.И. Зайцева // Вестн. МГУЛ – Лесн. вестн. 2012. № 3. С. 11–15.
6. *Клопова Н.М.* Экономические аспекты развития кормопроизводства // Экономика и социум. 2012. № 2. С. 200–202. Режим доступа: <http://www.iupr.ru/1-2011-g/> (Обращение 12 янв. 2013 г.)
7. *Коновалов В.Н., Зарубина Л.В.* Влияние дозы азота при подкормках на отток ^{14}C -ассимилятов у сосны в сосняках лишайниковых // Лесн. журн. 2012. № 1. С. 7–12. (Изв. высш. учеб. заведений).
8. *Листов А.А., Коновалов В.Н.* Влияние минеральных удобрений на сезонный рост сосны в высоту // Лесоведение. 1988. № 1. С. 33–42.
9. *Марков Х.М.* L-аргинин – оксид азота в терапии болезней сердца и сосудов // Кардиология. 2005. № 6. С. 87–95.
10. *Нагимов З.Я.* Закономерности роста и формирования надземной фитомассы основных древостоев: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Екатеринбург, 2000. 43 с.
11. *Новицкая Ю.Е., Чикина П.Ф.* Азотный обмен у сосны на Севере. Л.: Наука, 1980. 166 с.
12. *Племенков В.В.* Природные соединения – основной базис поиска химиотерапевтических субстанций // Новые достижения в химии и химической технологии растительного сырья: материалы IV Всерос. конф., 21–23 апреля 2009 г. Барнаул: Изд-во Алт. гос. ун-та, 2009. Кн. 2. С. 11–14.
13. Разработка новых технологий получения лекарственных форм для ветеринарной медицины на основе живицы сосновой / В.П. Короткий, В.И. Великанов, Н.И. Богданович, В.И. Рошин, И.Ф. Водопьянов, И.В. Чечет // Лесн. журн. 2012. № 5. С. 125–133. (Изв. высш. учеб. заведений).
14. Распределение фитомассы в сосняке лишайниковом / Н.Г. Балыков, Л.М. Виликайнен, Е.В. Робонен, А.В. Смирнов // Лесоведение. 1989. № 6. С. 57–63.
15. *Ушанова В.М., Степень Р.А., Репях С.М.* Переработка древесных отходов хвойных деревьев // Химия раст. сырья. 1998. № 2. С. 17–23.
16. *Чернобровкина Н.П.* Экофизиологическая характеристика использования азота сосной обыкновенной. СПб.: Наука, 2001. 175 с.
17. *Чернобровкина Н.П., Робонен Е.В., Зайцева М.И.* Накопление L-аргинина в хвое сосны обыкновенной при регуляции азотного и борного обеспечения // Химия раст. сырья. 2010. № 3. С. 71–75.
18. *Ягодин В.И.* Основы химии и технологии переработки древесной зелени / Под ред. Ю.И. Холькина. Л.: Изд-во ЛГУ, 1981. 224 с.

19. Ball R.O., Urschel K.L., Pencharz P.B. Nutritional consequences of interspecies differences in arginine and lysine metabolism // *J. Nutr.* 2007. Vol. 137, N 6. P. 1626–1641.
20. Cengiz Ö., Küçükersan S. Effects of graded contents of arginin supplementation on growth performance, haematological parameters and immune system in broilers // *Revue Méd. Vét.* 2010. Vol. 161, N 8–9. P. 409–417.
21. Engvild K.C. The “Red” Decline of Norway Spruce or “Røde Rødgraner” – Is it Ammonium Overload or Top-Dying? // *Risø National Laboratory*. April, 2005. 16 p.
22. Gezelius K, Näsholm T. Free amino acids and protein in Scots pine seedlings cultivated at different nutrient availabilities // *Tree Physiology*. 1993. Vol. 13, N 1. P. 71–86.
23. Greenstein J.P., Winitz M. *Chemistry of Amino Acids*. New York, London: John Veley and Sons, 1961. IV. P. 1847–1848.
24. Huhn B.G., Schulz H. Contents of free amino acids in Scots pine needles from field sites with different levels of nitrogen deposition // *New Phytologist*. 1996. Vol. 134. P. 95–101.
25. Näsholm T., Ericsson A. Seasonal changes in amino acids, protein and total nitrogen in needles of fertilized Scots pine trees // *Tree Physiology*. 1990. Vol. 6. P. 267–281.
26. Näsholm T., Kielland, K. Ganeteg U. Uptake of organic nitrogen by plants // *Tansley Review New Phytologist*. 2009. Vol. 182. P. 31–48.
27. Pat. 6340480. (IPC1-7): A61K35/78 AN 09/473105 01/22/2002. Natural composition for the treatment of circulatory conditions United States / Duckett M.J., Moore K.
28. Quantification of effects of season and nitrogen supply on tree below-ground carbon transfer to ectomycorrhizal fungi and other soil organisms in a boreal pine forest / M.N. Högberg, M.J.I. Briones, S.G. Keel, D.B. Metcalfe, C. Campbell, A.J. Midwood, B. Thoornton, V. Hurry, S. Linder, T. Nasholm, P. Hogberg // *New Phytologist*. 2010. Vol. 187. P. 485–493.
29. Tegeder M., Rentsch D. Uptake and Partitioning of Amino Acids and Peptides // *Molecular Plant*. 2010. Vol. 3, N 6. P. 997–1011.

Поступила 11.02.13

Accumulation of L-Arginine in Scots Pine Needles and Its Distribution over the Crown Under Regulation of Nitrogen and Boron Supply

E.V. Robonen¹, Leading Physicist

N.P. Chernobrovkina¹, Doctor of Biology, Associate Professor

T.N. Makarova¹, Leading Chemist

V.P. Korotky², Corresponding Member of the International Academy of Ecology, Human Safety and Nature, Director of the Science and Technology Center "Himinvest"

Yu.N. Prytkov³, Doctor of Agriculture, Professor

S.S. Marisov⁴, Postgraduate Student

¹ Forest Research Institute KRC RAS, Pushkinskaya, 11, Petrozavodsk, 185910, Russia

E-mail: er51@bk.ru

² Science and Technology Center "Himinvest", Nizhne-Volzhsкая naberezhnaya, 6/1, Nizhny Novgorod, 603001, Russia

E-mail: himinvest@sandy.ru

³ Institute of Agriculture, Ogarev Mordovia State University, Rossiyskaya 31, Yalga, Saransk, 430904, Russia

E-mail: agro-inst@adm.mrsu.ru

⁴ Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Gagarina, 97, Nizhny Novgorod, 603107, Russia

E-mail: himinvest@sandy.ru

A significant number of biologically active substances in pine wood green are water-soluble fractions, such as free amino acids which are used in the treatment of many diseases. The content and composition of free amino acids in a plant vary greatly depending on nutrient concentration. The level of amino acids in plant materials can be raised and their proportion can be changed, in accordance with a specific task, by regulating mineral nutrition of plants. Fertilization with nitrogen alone greatly increases the amount of amino acids rich in nitrogen in the organs of conifers. Arginine is the major amino acid for nitrogen storage in many conifers. The quality and quantity of free amino acids composition in the needles can vary within the crown and may depend on the date of fertilization. This is important to consider when harvesting plant materials.

The authors studied the influence of fertilization date on the content of L-arginine in Scots pine needles and its distribution in the crown. The experimental site was located in the south of Karelia. The stand consisted of naturally regenerated 10-year-old Scots pine trees (*Pinus sylvestris* L.). To determine the distribution of L-arginine in the crown, we added to the soil a 50 g/m² dose of nitrogen in the form of dry ammonium nitrate and a 0.25 g/m² dose of boron in the form of aqueous solution of boric acid in late August. Nitrogen and boron fertilizers were applied at the model sites during the first ten days of June, in late July and late August to optimize fertilization dates. Taking into account the ratio between the weight of needles and the weight of stems, depending on the position in the tree crown, and the distribution of L-arginine on the whorls, we recommend harvesting first and second year needles of the 2nd – 4th whorls of the tree. The most efficient period for fertilizing is early June, if the harvesting of pine needles enriched with L-arginine is carried out in autumn or winter.

Keywords: mineral nutrition, nitrogen, boron, L-arginine, *Pinus sylvestris* L.

REFERENCES

1. Goroshkevich S.N. *Prostranstvenno-vremennaya i strukturno-funktsional'naya organizatsiya krony kedra sibirskogo*: avtoref. dis. ... d-ra. biol. nauk [Spatio-Temporal and Structural-Functional Organization of Siberian Cedar Crown: Dr. Biol. Sci. Diss. Abs.]. Tomsk, 2011.
2. Granik V.G. Metabolizm L-arginina (obzor) [Metabolizm of L-Arginine (A Review)]. *Khimiko-farmatsevticheskiy zhurnal*, 2003, vol. 37, no. 3, pp. 3–20.
3. Zhuravleva L.N. *Pererabotka drevesnoy zeleni khvoynykh s ispol'zovaniem szhizhennykh uglevodorodov*: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [Treatment of Wood Green of Conifers Using Liquefied Hydrocarbons: Cand. Tech. Sci. Diss. Abs.]. Krasnoyarsk, 2005. 24 p.
4. Simonyan A.V., Salamatov A.A., Pokrovskaya Yu.S., Avanesyan A.A. *Ispol'zovanie ningidrinovoy reaktsii dlya kolichestvennogo opredeleniya aminokislot v razlichnykh ob"ektakh: metod. rek.* [The Use of Ninhydrin Test for Quantification of Amino Acids in Various Objects: Guidelines]. Volgograd, 2007. 106 p.
5. Robonen E.V., Chernobrovkina N.P., Chernyshenko O.V., Zaytseva M.I. *Istochniki polucheniya drevesnoy zeleni dlya proizvodstva argininovogo immunostimulyatora* [Sources of Foliage for Arginine Immunostimulant Manufacturing]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik*, 2012, no. 3, pp. 11–15.

6. Klopikova N.M. Ekonomicheskie aspekty razvitiya kormoproizvodstva [Economic Aspects of Forage Production Development]. *Ekonomika i sotsium*, 2012, no. 2, pp. 200–202. Available at: <http://www.iupr.ru/1-2011-g/> (accessed 12 January 2013).

7. Konovalov V.N., Zarubina L.V. Vliyanie dozy azota pri podkormkakh na ottok ^{14}C -assimilyatov u sosny v sosnyakakh lishaynikovyykh [Impact of Nitrogen Dose on the ^{14}C -Assimilates Outflow in Pine Trees at the Lichen Pine Forests]. *Lesnoy zhurnal*, 2012, no. 1, pp. 7–12.

8. Listov A.A., Konovalov V.N. Vliyanie mineral'nykh udobreniy na sezonnyy rost sosny v vysotu [Influence of Fertilizers on the Seasonal Height Growth of Pine]. *Lesovedenie*, 1988, no. 1, pp. 33–42.

9. Markov Kh.M. L-arginin–oksid azota v terapii bolezney serdtsa i sudov [L-Arginin – Nitric Oxide System in the Therapy of Diseases of the Heart and Vessels]. *Kardiologiya*, 2005, no. 6, pp. 87–95.

10. Nagimov Z.Ya. *Zakonomernosti rosta i formirovaniya nadzemnoy fitomassy sosnovykh drevostoev*: avtoref. dis. ... d-ra s.-kh. nauk [Mechanisms of Growth and Formation of Aboveground Phytomass of Pine Stands: Dr. Agric. Sci. Diss. Abs.]. Yekaterinburg, 2000. 43 p.

11. Novitskaya Yu.E., Chikina P.F. *Azotnyy obmen u sosny na Severe* [Nitrogen Metabolism in Pine in the North]. Leningrad, 1980. 166 p.

12. Plemenkov V.V. Prirodnye soedineniya – osnovnoy bazis poiska khimioterapevticheskikh substantsiy [Natural Compounds – Basic in Searching for Chemotherapeutic Substances]. *Novye dostizheniya v khimii i khimicheskoy tekhnologii rastitel'nogo syr'ya: materialy IV Vseros. konf.* [Advances in Chemistry and Chemical Engineering of Bioorganic Materials: Proc. 4th All-Russian Conf.]. 21–23 April 2009. Barnaul, 2009, vol. 2, pp. 11–14.

13. Korotkiy V.P., Velikanov V.I., Bogdanovich N.I., Roshchin V.I., Vodop'yanov I.F., Chechet I.V. Razrabotka novykh tekhnologiy polucheniya lekarstvennykh form dlya veterinarnoy meditsiny na osnove zhivitsy sosnovoy [Development of New Techniques to Produce Pine Resin-Based Drugs for Veterinary Medicine]. *Lesnoy zhurnal*, 2012, no. 5, pp. 125–133.

14. Balykov N.G., Vilikaynen L.M., Robonen E.V., Smirnov A.V. Raspredelenie fitomassy v sosnyake lishaynikovom [Phytomass Distribution in the Lichen Pine Forest]. *Lesovedenie*, 1989, no. 6, pp. 57–63.

15. Ushanova V.M., Stepen' R.A., Repyakh S.M. Pererabotka drevesnykh otkhodov khvoynykh derev'ev [Recycling of Waste Wood from Coniferous Trees]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 1998, no. 2, pp. 17–23.

16. Chernobrovkina N.P. *Ekofiziologicheskaya kharakteristika ispol'zovaniya azota sosnoy obyknovennoy* [Ecophysiological Characteristics of the Use of Scots Pine Nitrogen]. St. Petersburg, 2001. 175 p.

17. Chernobrovkina N.P., Robonen E.V., Zaytseva M.I. Nakoplenie L-arginina v khvoe sosny obyknovennoy pri regul'yatsii azotnogo i bornogo obespecheniya [L-Arginine Storage in Scots Pine Needles Under Controlled Nitrogen and Boron Nutrition]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2010, no. 3, pp. 71–75.

18. Yagodin V.I. *Osnovy khimii i tekhnologii pererabotki drevesnoy zeleni* [Fundamentals of Chemistry and Technology of Wood Green Processing]. Leningrad, 1981. 224 p.

19. Ball R.O., Urschel K.L., Pencharz P.B. Nutritional Consequences of Interspecies Differences in Arginine and Lysine Metabolism. *J. Nutr.*, 2007, vol. 137, no. 6, pp. 1626–1641.

20. Cengiz Ö., Küçükersan S. Effects of Graded Contents of Arginin Supplementation on Growth Performance, Haematological Parameters and Immune System in Broilers. *Revue Méd. Vét.*, 2010, vol. 161, no. 8–9, pp. 409–417.
21. Engvild K.C. *The “Red” Decline of Norway Spruce or “Røde Rødgraner” – Is It Ammonium Overload or Top-Dying?* Risø National Laboratory. April 2005. 16 p.
22. Gezelius K., Näsholm T. Free Amino Acids and Protein in Scots Pine Seedlings Cultivated at Different Nutrient Availabilities. *Tree Physiology*, 199, vol. 13, no. 1, pp. 71–86.
23. Greenstein J.P., Winitz M. *Chemistry of Amino Acids*. New York, London, 1961, pp. 1847–1848.
24. Huhn B.G., Schulz H. Contents of Free Amino Acids in Scots Pine Needles from Field Sites with Different Levels of Nitrogen Deposition. *New Phytologist*, 1996, vol. 134, pp. 95–101.
25. Näsholm T., Ericsson A. Seasonal Changes in Amino Acids, Protein and Total Nitrogen in Needles of Fertilized Scots Pine Trees. *Tree Physiology*, 1990, vol. 6, pp. 267–281.
26. Näsholm T., Kielland K., Ganeteg U. Uptake of Organic Nitrogen by Plants. *New Phytologist*, 2009, vol. 182, pp. 31–48.
27. Duckett M.J., Moore K. *Natural Composition for the Treatment of Circulatory Conditions*. United States Patent 6340480. (IPC1-7): A61K35/78 AN 09/473105 01/22/2002.
28. Högberg M.N., Briones M.J.I., Keel S.G., D.B. Metcalfe, C. Campbell, A.J. Midwood, B. Thoornton, V. Hurry, S. Linder, T. Nasholm, P. Hogberg. Quantification of Effects of Season and Nitrogen Supply on Tree Below-Ground Carbon Transfer to Ectomycorrhizal Fungi and Other Soil Organisms in a Boreal Pine Forest. *New Phytologist*, 2010, vol. 187, pp. 485–493.
29. Tegeder M., Rentsch D. Uptake and Partitioning of Amino Acids and Peptides. *Molecular Plant*, 2010, vol. 3, no. 6, pp. 997–1011.
-



УДК 630*432

ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИМЕНЕНИЯ И КОМПОНОВКИ ТРАКТОРНОГО ЛЕСОПОЖАРНОГО ГРУНТОМЕТА

© *С.Н. Орловский, канд. техн. наук, доц.*

Красноярский государственный аграрный университет, пр. Мира, 90, г. Красноярск, Россия, 660049

E-mail: orlovskiysergey@mail.ru

Вопросом чрезвычайной важности является повышение эффективности использования грунтометов на тушении кромки низовых лесных пожаров. Целью работы являлось исследование влияния конструкции грунтомета и компоновки лесопожарного агрегата на эффективность тушения. Программа предусматривала анализ влияния конструктивных особенностей грунтомета на эффективность тушения кромки лесного пожара и безопасность труда, когда агрегат попадает в зону конвекционного потока действующей кромки. Исследования проводили в натуральных условиях на макетном образце тракторного лесопожарного грунтомета фронтальной навески с гидравлическим приводом рабочего органа на базе трелевочного трактора ТТ-4. Получены зависимости удельной подачи огнегасящего вещества (грунта) на единицу площади кромки лесного пожара, обоснован выбор направления метания грунта для тушения кромки лесного пожара и особенности компоновки тракторного лесопожарного грунтомета. Обоснована возможность уменьшения ширины забросанной грунтом полосы при условии прокладки борозды рядом с потушенной кромкой и повышения эффективности работы агрегата при фронтальной схеме тушения. Рассмотрено влияние аэродинамического разделения метаемого грунта по длине струи в зависимости от коэффициента парусности на процесс тушения кромки лесного пожара. На основании полученных результатов обоснованы конструкция и компоновка тракторного лесопожарного агрегата с грунтометом фронтальной навески в виде роторного метателя с подвижным направляющим кожухом и определены параметры метания грунта, что позволит увеличить дальность метания и получить возможность управления дальностью и направлением полета струи грунта во время работы агрегата.

Ключевые слова: грунтомет, технология, тушение, компоновка, конструкция.

Для тушения кромки лесного пожара грунтом и прокладки минерализованных заградительных барьеров и опорных полос используют тракторные грунтометры и полосопрокладыватели. Принципиальное их отличие состоит в том, что первые метают грунт на кромку пожара, вторые выполняют прокладку минерализованной полосы с отбрасыванием продуктов резания. Анализ технологий применения грунтометов (АЛФ-10, ГТ-2, ГТ-3, ОФ-1 и др.) на тушении лесных пожаров [2, 4, 6] показывает, что эти орудия фактически являются полосопрокладывателями с шириной минерализованной полосы до

10...20 м. Однако по условиям техники безопасности работа тракторного агрегата не может выполняться ближе 20 м от кромки лесного пожара.

Целью исследований является выбор направления метания грунта для тушения кромки лесного пожара и обоснование компоновки тракторного лесопожарного грунтомета. При этом необходимо изучить влияние конструктивных особенностей грунтомета на эффективность тушения кромки лесного пожара.

Экспериментальные исследования выполнены на созданном с участием автора лесопожарном агрегате на базе трактора ТТ-4 [5].

Существующая технология активного тушения кромки пожара и разработанные для нее орудия имеют существенный недостаток, заключающийся в том, что метание грунта на кромку лесного пожара производится перпендикулярно к траектории движения агрегата. При этом орудие создает заградительную полосу максимальной ширины, но она может быть реализована только против тыла и флангов. При борьбе же с фронтом лесного пожара Е.С. Арцыбашев [1] рекомендует создавать лишь заградительные полосы, так как грунт необходимо метать против ветра, что уменьшает дальность его транспортировки (рис. 1).

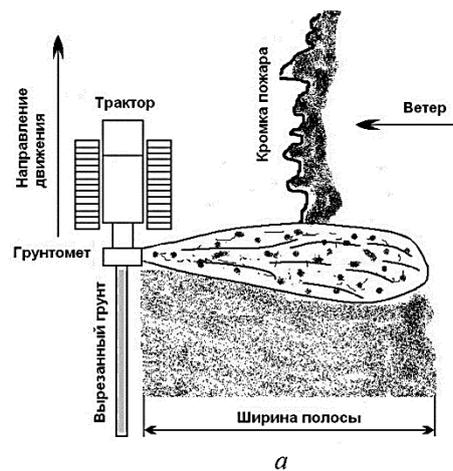
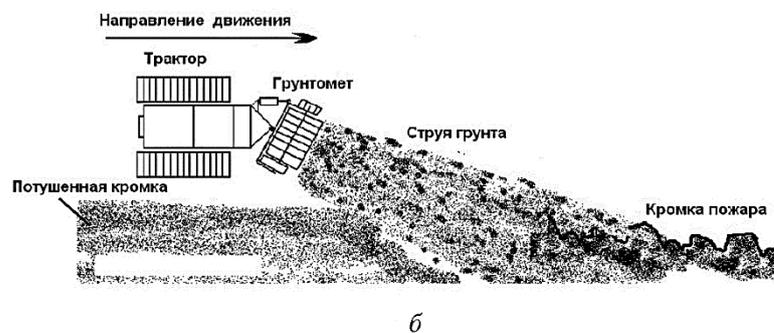


Рис. 1. Тушение фронтальной кромки лесного пожара грунтометом в перпендикулярном (а) и продольном (под углом) (б) направлениях к кромке



б

Ширина кромки пожара составляет всего 3...7 % от ширины засыпанной грунтом полосы и находится в конце засыпанной зоны, т. е. на активное тушение используется незначительная часть перемещаемого грунта.

Удельная подача q огнегасящего вещества (грунта) на единицу площади кромки лесного пожара определяется из уравнения

$$q = \gamma ab/A, \quad (1)$$

где γ – объемная масса грунта, кг/м³;

a – глубина борозды, м;

b – ширина борозды, м;

A – ширина полосы, забросанной грунтом, м.

Из (1) видно, что для увеличения расхода грунта на тушение кромки пожара необходимо уменьшать ширину забрасываемой им полосы. При метании грунта перпендикулярно кромке пожара (рис. 1, *a*) дальность транспортировки равна ширине заброски l , т. е. $l = A$. Поэтому для поддержания требуемого расхода грунта на тушение необходимо увеличивать объем его разработки или уменьшать дальность бросания. Первое ведет к возрастанию затрат энергии, второе – к снижению безопасности труда при тушении фронта лесного пожара, когда агрегат попадает в зону конвекционного потока действующей кромки.

Уменьшение ширины забросанной грунтом полосы возможно лишь тогда, когда борозда будет прокладываться рядом с уже потушенной кромкой. Для этого необходимо изменить направление метания с перпендикулярного кромке пожара на продольное, под углом к ней (рис. 1, *б*). Преимущество данной схемы очевидно, так как минимальное значение A может быть равно ширине кромки пожара.

Поэтому метание грунта будет осуществляться с отклонением от направления движения машины с таким расчетом, чтобы в зоне действия струи оказалась вся кромка. Недалеко от кромки могут быть отдельные интенсивные очаги горения, поэтому необходимо предусмотреть возможность их прицельного тушения путем поворота струи грунта в горизонтальной плоскости.

При разработке грунта орудием в струе оказывается все, что находится на поверхности и в верхних слоях почвы. В связи с неоднородностью транспортируемого материала происходит его аэродинамическое распределение по длине струи в зависимости от коэффициента парусности $C_{\text{п}}$, определяемого по формуле [3]:

$$C_{\text{п}} = k\gamma_{\text{в}} F_m / (gm), \quad (2)$$

где k – коэффициент сопротивления;

$\gamma_{\text{в}}$ – удельная масса воздуха, кг/м³;

F_m – миделевое сечение, т.е. площадь проекции метаемых кусков на плоскость перпендикулярно направлению скорости, м²;

g – ускорение свободного падения тела, м/с²;

m – масса частицы транспортируемого материала, кг.

Из уравнения (2) видно, что для снижения коэффициента сопротивления необходимо увеличивать массу транспортируемых частиц и уменьшать их миделево сечение. Транспортировка грунта в виде пластов дернины позволяет значительно увеличить дальность метания. Коэффициент парусности при этом не превышает 0,01.

При падении пласта дернины и его движении по земле происходит отряхивание грунта, т. е. постепенное разрушение пласта в воздухе и на земле способствует увеличению дальности транспортировки основной массы грунта. Опад и подстилка состоят из частиц с малым объемным весом, обладают большим коэффициентом парусности (до 0,80) и легко сепарируются, способствуя образованию пыли.

В результате различного коэффициента парусности транспортируемые материалы распределяются по длине струи грунта следующим образом: вначале опад и подстилка, затем грунт в мелких фракциях и в конце пласт, состоящий из живого напочвенного покрова с остатками грунта на корнях. Каждый компонент струи обладает различными огнегасящими свойствами. Опад и подстилка – горючие материалы, которые приходится тушить во время пожара, грунт – огнегасящее средство. Метаемые пласты дернины при падении на землю, а также во время перекачивания и скольжения по ней сбивают пламя, разрушают горящий слой, охлаждают и изолируют его от окружающей среды, т. е. производят активное тушение кромки пожара.

При транспортировке грунта перпендикулярно оси движения машины кромка пожара может находиться на любом участке струи, а значит и эффект от ее действия будет различный. При транспортировке грунта по ходу движения агрегата вначале на действующую кромку пожара падают пласты дернины, значительно снижая его интенсивность (рис. 2). Затем на ослабленную кромку пожара воздействует чистый грунт, производя окончательное тушение. Опад и лесная подстилка, обладая большей по сравнению с грунтом парусностью и меньшей массой, падают, не долетая до кромки пожара.

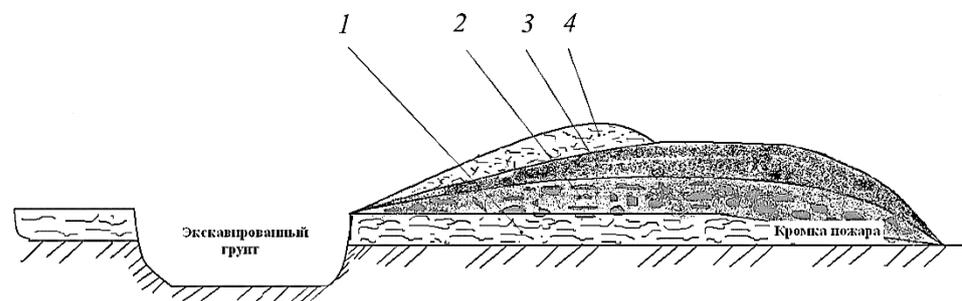


Рис. 2. Послойное распределение метательного материала: 1 – подстилка; 2 – пласты дернины и грунта; 3 – чистый грунт; 4 – отвесные опад и подстилка

Таким образом, эффективность тушения возрастает. Двигаясь рядом с потушенной кромкой, тракторист и оператор могут визуально наблюдать за эффективностью действия струи грунта и направлять ее на кромку пожара. При тушении агрегат находится вне влияния действующей кромки пожара любой интенсивности горения.

Управление струей предполагает возможность вести прицельную подачу грунта в любую точку кромки пожара в зоне действия струи. В грунтотемах с неподвижными направляющими кожухами этого добиваются путем их поворота. При этом контакт грунта с кожухом приводит к торможению и дроблению транспортируемого материала, что отрицательно оказывается на дальности метания и повышает энергоемкость процесса.

Рассматриваемая конструкция роторного метателя с подвижным направляющим кожухом позволяет снизить энергоемкость процесса; увеличить дальность метания; получить возможность управления дальностью и направлением полета струи грунта во время работы агрегата. Изменение угла выброса можно осуществить изменением момента обгона ковшеобразной лопасти фрезы лопастью метателя (рис. 3) [7].

При повороте редуктора 2 относительно рамы 9 с помощью гидроцилиндра происходит поворот относительно друг друга вращающегося кожуха 5 и лопастей метателя 7, что приводит к перемещению точки обгона, а значит, и к изменению момента выброса грунта из него. Частота вращения вала 3 метателей (рис. 3, б) в 2 раза превышает частоту вращения вращающегося кожуха 5, что позволяет получать совпадение его окон с лопастями метателя 7 два раза за один оборот кожуха 5. При навеске орудия на трактор последний должен быть оборудован системой гидравлического отбора мощности [7].

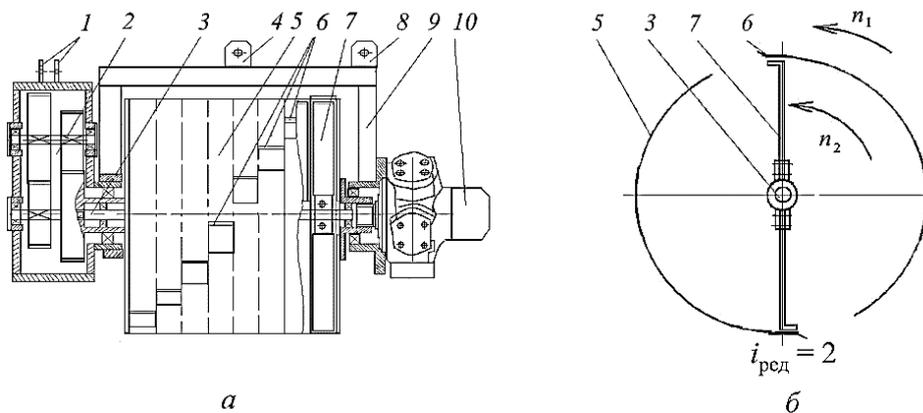


Рис. 3. Схемы грунтотема (а) и механизма (б) управления дальностью метания: 1 – кронштейн крепления гидроцилиндра поворота редуктора; 2 – редуктор привода метателей и управления дальностью струи грунта; 3 – вал метателей; 4 – кронштейн навески; 5 – ротор фрезы (вращающийся кожух); 6 – нож; 7 – лопасть метателя; 8 – кронштейн гидроцилиндра управления поворотом в горизонтальной плоскости; 9 – рама; 10 – высокомоментный радиально-поршневой гидравлический двигатель

При передаточном числе редуктора $i = 2$ угол поворота редуктора равен углу изменения направления метания в вертикальной плоскости. Изменение угла выброса происходит в вертикальной плоскости вдоль оси машины. Выброс грунта в сторону осуществляется за счет поворота рабочего органа в горизонтальной плоскости на кронштейне 4. Управление направлением и дальностью метания грунта осуществляет оператор посредством рычагов управления гидрораспределителем, воздействующим на гидроцилиндры поворота редуктора и рамы грунтомета (не показаны). При испытаниях производительность по метанию грунта составила $500 \text{ м}^3/\text{ч}$ [7].

Таким образом, если рассматривать процесс тушения с точки зрения количества расходуемого огнегасящего материала, можно сделать вывод о необходимости тушения кромки лесного пожара перед агрегатом. Наиболее целесообразно при тушении кромки лесного пожара под пологом древостоя создавать струю грунта высотой над поверхностью почвы не более 3 м, длиной 15...20 м. Точка выброса должна быть выше напочвенного покрова. При активном тушении фронтальной кромки необходимо сбивать пламя перед лесопожарным агрегатом с навесным орудием, расположенным в его передней части.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Арцыбашев Е.С.* Лесные пожары и борьба с ними. М.: Лесн. пром-сть, 1974. 149 с.
2. *Курбатский Н.П., Цыкалов А.Г.* Параметры фронтальной кромки пожара в лиственничниках на вечной мерзлоте // Лесн. журн. 1991. № 3. С. 3–6. (Изв. высш. учеб. заведений).
3. *Летошнев М.Н.* Сельскохозяйственные машины. М.: Сельхозгиз, 1955. С. 609.
4. Результаты испытания тракторного грунтомета ГТ-3 и совершенствование его конструкции / А.Н. Чукичев, Ю.М. Кодянов, Е.В. Веденина, Г.Е. Фомин // Механизация лесохозяйственных работ в таежной зоне: сб. науч. тр. Л.: ЛеНИИЛХ, 1981. С. 94–107.
5. *Стахеев Ю.И., Орловский С.Н.* Оборудование трактора ТТ-4 для лесохозяйственных работ // Лесн. хоз-во. 1976. № 9. С. 61–63.
6. *Фомин Г.Е., Ниукканен В.В.* Особенности конструкции и параметры лесопожарного агрегата АЛФ-10 // Механизация лесохозяйственных работ на северо-западе таежной зоны: сб. науч. тр. Л.: ЛеНИИЛХ, 1987. С. 59–65.
7. *Халитов, А.Г., Худоногов Ю.А.* Результаты испытания тракторного грунтомета // Горение и пожары в лесу: тез. докл. и сообщений 1-го Всесоюз. науч.-техн. совещания. Красноярск, 1978. С. 159–160.

Поступила 13.03.12

Technology and Structural Configuration of a Fire-Fighting Soil-Thrower

S.N. Orlovsky, Candidate of Engineering, Associate Professor

Krasnoyarsk State Agrarian University, pr. Mira, 90, Krasnoyarsk, 660049, Russia

E-mail: orlovskiysergey@mail.ru

Increasing the efficiency of soil-throwers to extinguish ground fires at their edges is an issue of utmost importance. The paper studied how the design of the soil-thrower and

structural configuration of the fire-fighting unit affects fire extinguishing. The research program assessed the effect of the soil-thrower's design features on extinguishing forest fire at its edges and occupational safety when the unit gets into the convective flow zone of the current edge. The studies were conducted under natural conditions on the model tractor-drawn front-mounted soil-thrower with hydraulic actuator based on TT-4 skidder. A relation between the supply of extinguishant (soil) and the area of the fire edge was obtained; the choice of direction of soil throwing and the structural configuration of the fire-fighting soil-thrower were justified. The author proves it possible to reduce the width of the line covered with soil by digging a trench near the extinguished edge and to make the unit more efficient at frontal extinguishing.

In addition, the paper studied the influence of aerodynamic separation of the thrown soil along the jet length, depending on the sailing coefficient, on the process of fire edge extinguishing. The obtained results allow us to justify the design and structural configuration of the tractor-drawn unit with front-mounted soil-thrower in the form of a rotary thrower with a movable guide casing and determine soil-throwing parameters in order to increase the throwing range and control the range and direction of the soil jet during operation.

Keywords: soil-thrower, technology, fire extinguishing, structural configuration, design.

REFERENCES

1. Artsybashev E.S. *Lesnye pozhary i bor'ba s nimi* [Forest Fires and Their Control]. Moscow, 1974. 149 p.
2. Kurbatskiy N.P., Tsykalov A.G. Parametry frontal'noy kromki pozhara v listvennichnikakh na vечноy merzlotte [Parameters of Fire Front Edge in Larch Forests on Permafrost Soil]. *Lesnoy zhurnal*, 1991, no. 3, pp. 3–6.
3. Letoshnev M.N. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny* [Agricultural Machinery]. Moscow, 1955, p. 609.
4. Chukichev A.N., Kodyanov Yu.M., Vedenina E.V., Fomin G.E. Rezul'taty ispytaniya traktornogo gruntometa GT-3 i sovershenstvovanie ego konstruktsii [Test Results of GT-3 Soil-Thrower and Improvement of Its Design]. *Mekhanizatsiya lesokhozyaystvennykh rabot v taezhnoy zone: sb. nauch. tr.* [Mechanization of Forestry Operations in the Taiga Zone: Collected Papers]. Leningrad, 1981, pp. 94–107.4.
5. Stakheev Yu.I., Orlovskiy S.N. Oborudovanie traktora TT-4 dlya lesokhozyaystvennykh rabot [Equipment of TT-4 Tractor for Forestry Operations]. *Lesnoe khozyaystvo*, 1976, no. 9, pp. 61–63.
6. Fomin G.E., Niukkanen V.V. Osobennosti konstruktsii i parametry lesopozharnogo agregata ALF-10 [Design Features and Parameters of ALF-10 Forest Fire-Fighting Unit]. *Mekhanizatsiya lesokhozyaystvennykh rabot na severo-zapade Tazhnoy zony: sb. nauch. tr.* [Mechanization of Forestry Operations in the Northwest of the Taiga Zone: Collected Papers]. Leningrad, 1987, pp. 59–65.
7. Khalitov A.G., Khudonogov Yu.A. Rezul'taty ispytaniya traktornogo gruntometa [Soil-Thrower Test Results]. *Gorenie i pozhary v lesu: tez. dokl. i soobshcheniy pervogo Vsesoyuz. nauch.-tekhn. soveshchaniya* [Burning and Forest Fires: Proc. 1st All-Union Sci. and Tech. Meeting]. Krasnoyarsk, 1978, pp. 159–160.

УДК 630*323.4

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА РАСКРЯЖЕВКИ ХЛЫСТОВ НА ЛЕСОПЕРЕВАЛОЧНЫХ БАЗАХ ЛЕСНЫХ ХОЛДИНГОВ ПРИ ВЫПИЛОВКЕ СЫРЬЯ ДЛЯ МАЧТОПРОПИТОЧНЫХ ЗАВОДОВ

© *О.А. Куницкая*¹, канд. техн. наук, доц.

*И.И. Тихонов*¹, канд. техн. наук, доц.

*Д.Е. Куницкая*¹, асп.

*И.В. Григорьев*¹, д-р техн. наук, проф.

*А.Е. Земцовский*², канд. техн. наук, доц.

¹Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, Институтский пер., 5, Санкт-Петербург, Россия, 194021

E-mail: tlzp@inbox.ru

²Северный (Арктический) федеральный университет, наб. Северной Двины, 17, г. Архангельск, Россия, 163002

E-mail: alz@atnet.ru

В статье предложен новый способ и технические средства программного раскроя–раскряжевки хлыстов, рекомендуемые для использования на лесопромышленных складах холдингов, имеющих в своем составе пропиточные заводы. Предложенный способ позволяет существенно повысить производительность, а также выход специальных сортиментов – сырья для мачтопропиточных заводов

В целях оптимизации выхода полезной продукции, в том числе и сырья для мачтопропиточных заводов, при программном раскрое предлагаются системы автоматизированного управления раскром–раскряжевкой хлыстов.

При относительно небольших объемах раскряжевки (в пределах 100 тыс. м³/год для мелких лесопромышленных складов) целесообразно использовать раскряжевочные установки с продольным перемещением хлыстов (ЛО-15С, ЛО-15А, ЛО-30 и др.), оснатив их системой автоматизированного оперативного управления процессом раскроя–раскряжевки хлыстов при их продольном перемещении.

Система автоматизированного оперативного управления раскром–раскряжевкой хлыстов включает блок памяти, содержащий параметры опор, планируемых к производству; узел измерения параметров хлыста; механизм перемещения хлыста и пильный механизм. Все они функционально связаны друг с другом, с узлом измерения параметров хлыста и блоком памяти (блоки расчета толщины коры, сбега участка хлыста, длины зоны, блок расчета оптимальной схемы раскроя зоны хлыста, блоки сравнения и коррекции, исполнительное устройство перемещения хлыста и распила, а также устройства сортировки и маркировки полученных опор). Система автоматизированного управления отличается тем, что выполнена с возможностью проведения последовательной оптимизации раскроя зон сортиментов по размерному показателю при выпиливание каждой опоры.

Задачей оператора является ввод параметров опор, планируемых к производству, при необходимости – их ценовых показателей, а также определение породы хлыстов, поступающих на раскряжевку, ввод этого показателя в систему управления, определение различных дефектов и пороков ствола и переход, при необходимости, на ручное управление раскром–раскряжевкой.

Результаты раскряжевки и сортировки, т. е. объемы опор рассортированные по размерным, породным и качественным признакам, могут оцениваться как по стоимостному показателю, так и по количеству товарной продукции, производимой предприятием в различные временные отрезки.

Ключевые слова: раскряжевка, деревянные опоры, лесопромышленные холдинги.

В настоящее время на территории России успешно работает целый ряд мачтопропиточных заводов (Лодейнопольский – Ленинградская обл., Сеесъярвский – Республика Карелия, Ленинградский – г. С.-Петербург, Серовский – г. Екатеринбург, Белоярский – Алтайский край). Они выпускают шпалы деревянные пропитанные, деревянные опоры линий электропередач, столбы телеграфные и т.д., для изготовления которых используются сосна, ель, кедр, пихта, береза и др. породы.

Часть таких мачтопропиточных заводов входит в крупные промышленные холдинги, ведущие широкомасштабный бизнес по комплексному оснащению промышленным оборудованием, техникой, сырьем, материалами и сервисными услугами предприятий нефтегазодобывающей и химической отраслей промышленности, электроэнергетики, металлургии, строительства. Другие специализируются только на лесопромышленном комплексе, имея в своей структуре несколько деревообрабатывающих (лесопильных, пропиточных и др.) и деревоперерабатывающих предприятий (целлюлозно-бумажных, гидролизных и др.).

Несмотря на то, что в ряде регионов России доля заготовки древесины по сортиментной технологии увеличивается, хлыстовая технология по-прежнему является наиболее распространенной. В настоящее время на нее приходится около 80 % всего заготавливаемого леса, в США и Канаде этот показатель составляет более 85% [5].

Во многом это связано с тем, что хлыстовая технология заготовки древесины позволяет свести к минимуму число операций, выполняемых на лесосеке, перенести их на более производительное стационарное оборудование нижних складов и бирж сырья деревоперерабатывающих предприятий, уменьшить трудозатраты на очистку лесосек и использовать сучья, вершины и ассимиляционный аппарат деревьев на производство полезной продукции (топливной и технологической щепы, арболита, хвойно-витаминной муки, и др.) [5].

Как уже отмечалось, хлыстовая заготовка древесины предусматривает выполнение раскряжевки хлыстов на лесопромышленных складах различного назначения и принадлежности. В условиях крупных лесных холдингов, включающих в себя несколько территориально удаленных деревоперерабатывающих предприятий, это могут быть как нижние склады леспромхозов (входящих в холдинг), так и лесоперевалочные базы, на которые древесина поступает от нескольких поставщиков (заготовительных участков) и после определенной обработки (раскряжевки и сортировки) отгружается потребителям

(деревоперерабатывающим предприятиям), которые имеют свои определенные размерно-качественные требования к сырью [3].

Операция поперечной распиловки (раскряжевки) является одной из наиболее распространенных и ответственных в технологическом процессе первичной обработки древесины. От того, как качественно она выполняется (оптимальность назначения длин отрезков и точность их отмера), зависит и прибыль предприятия в целом.

На большей части лесоперевалочных баз лесопромышленных холдингов, как и на нижних складах их лесозаготовительных участков, производится раскряжевка на ограниченное количество сортиментов (3-4) при достаточно значительном грузообороте складов и лесоперевалочных баз.

Известно, что при таких условиях программный метод раскряжки часто дает наилучшие результаты за счет более высокой производительности. Установки для программного раскряжки обычно являются полуавтоматическими. Однако, если схема раскряжки зависит только от геометрических размеров хлыста, то программа раскряжки может выбираться автоматически и установка будет автоматической. По такому методу раскряжки работают установки типа «триммер». Для повышения выхода деловой древесины может быть использована предварительная дефектоскопия перерабатываемой древесины, позволяющая оператору установки выявлять скрытые пороки древесины и изменять программу раскряжки [1–3].

К сырью для мачтопропиточных заводов предъявляются требования как по породам древесины, так и по размерно-качественным признакам. Например, детали опор изготавливают из сосны 1- и 2-го сорта по ГОСТ 9463–88, из комлевой части хлыста. Для деталей опор установлены требования к диаметрам: диаметр в верхнем торце d и диаметр на расстоянии 1,5 м от нижнего торца D должны быть не меньше указанных в таблице.

Размеры (мм) деталей деревянных опор (ГОСТ 20022.6–93)

Номинальная длина, м	Тип деталей опор					
	легкие (L)		средние (M)		прочные (S)	
	d_{\min}	D_{\min}	d_{\min}	D_{\min}	d_{\min}	D_{\min}
3,5	140	–	–	–	210	–
4,5	140	–	–	–	210	–
6,5	140	160	160	180	195	210
7,5	140	170	160	190	195	220
8,5	140	180	160	195	195	230
9,5	140	190	160	210	195	240
10,0	140	200	160	215	195	245
11,0	140	210	160	225	195	250
13,0	140	220	160	235	195	260

Примечание. d_{\min} – минимальный диаметр верхнего торца; D_{\min} – минимальный диаметр на расстоянии 1,5 м от нижнего торца.

В целях оптимизации выхода полезной продукции, в том числе и сырья для мачтопропиточных заводов, при программном раскрое предлагается система автоматизированного управления процессом раскроя–раскряжевki хлыстов [6].

В случае относительно небольших объемов раскряжевki, в пределах 100 тыс. м³/год (мелкие лесопромышленные склады) [4], целесообразно использовать раскряжевочные установки с продольным перемещением хлыстов (ЛО-15С, ЛО-15А, ЛО-30 и др.), оснатив их системой автоматизированного оперативного управления процессом раскроя–раскряжевki хлыстов при их продольном перемещении (рис. 1).

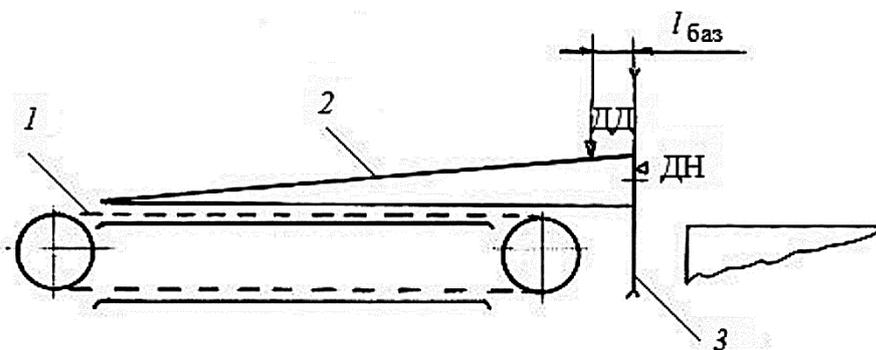


Рис. 1. Схема раскряжевочной установки, оснащенной системой автоматизированного оперативного управления: 1 – механизм продольного перемещения хлыста; 2 – хлыст; 3 – пильный диск

Хлыст, поступивший на раскряжевку, перемещается до датчика наличия (ДН), который включает в действие систему автоматизированного оперативного управления процессом раскроя–раскряжевki. Датчик, измеряющий диаметры хлыста ДД, от плоскости пилы устанавливается на расстоянии $l_{\text{баз}}$, которое должно быть меньше или равно минимальному значению номинальной длины опор, изготавливаемых на предприятии (см. таблицу):

$$l_{\text{баз}} \leq l_{\text{ном min}}. \quad (1)$$

Результаты измерения диаметра хлыста используются системой оперативного управления раскроем–раскряжевкой. Эта система включает в себя блок памяти, содержащий информацию о требуемых параметрах опор, планируемых к производству.

Пильный механизм раскряжевочной установки и механизм продольного перемещения хлыста связаны с узлом измерения хлыста, блоком памяти и блоками расчета толщины коры, сбега участка хлыста, блоком расчета оптимальной схемы раскроя зоны хлыста и блоком сравнения и коррекции. Помимо этого, раскряжевочную установку целесообразно оснастить устройствами для сортировки и маркировки опор.

Предлагаемое техническое решение отличается тем, что система автоматизированного управления выполнена с возможностью последовательной оптимизации раскроя по размерному показателю при выпиливании каждой опоры.

На рис. 2 представлена схема автоматизированного управления процессом оптимального раскроя–раскряжевki стволов.

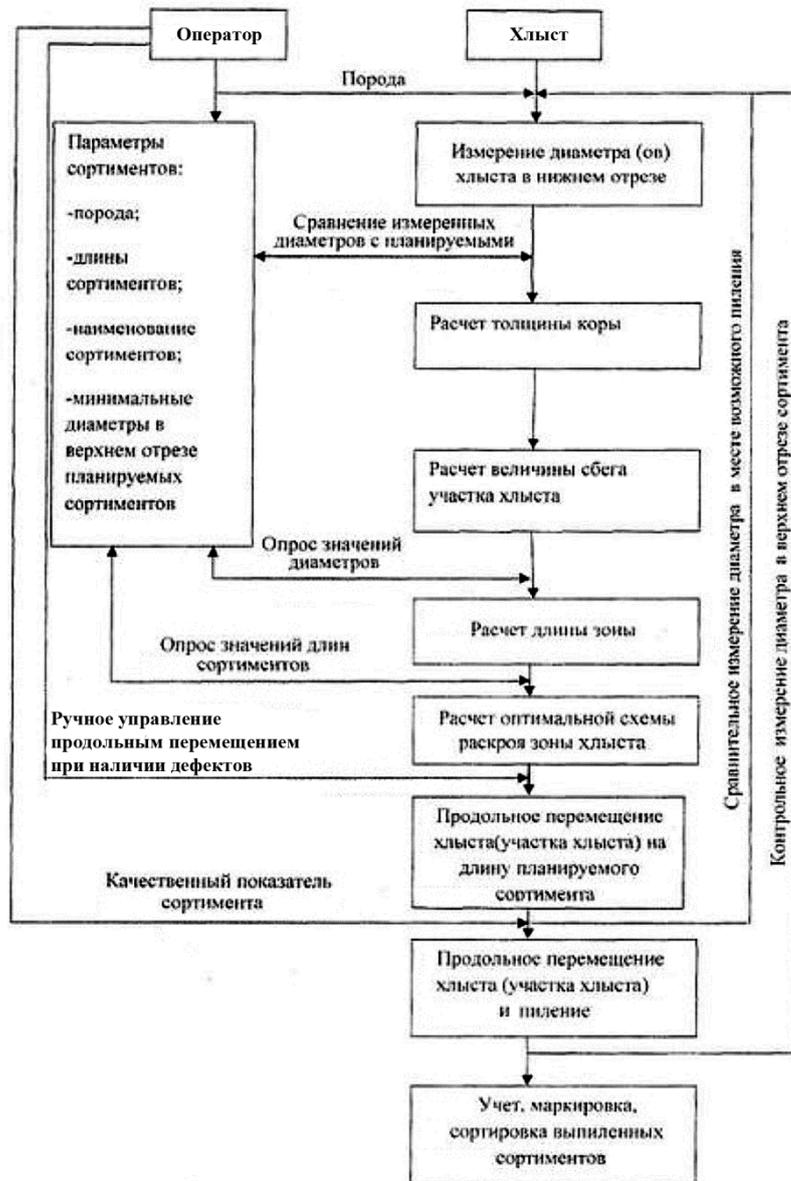


Рис. 2. Блок-схема оперативного автоматизированного управления процессом оптимального раскроя–раскряжевki

Задачей оператора является ввод параметров опор, планируемых к производству, при необходимости – их ценовых показателей, а также определение породы хлыстов, поступающих на раскряжевку, и ввод этого показателя в систему управления, определение различных дефектов и пороков ствола и переход, при необходимости, на ручное управление раскромом–раскряжевкой.

Толщину коры рассчитывают по эмпирической зависимости

$$\Delta_{ki} = a + b_0(D_i - 100), \quad (2)$$

где a, b_0 – эмпирические коэффициенты, зависящие от породы дерева (для сосны: $a = 2,8$ мм, $b_0 = 0,018$; для ели: $a = 3$ мм, $b_0 = 0,024$; для березы: $a = 2,8$ мм, $b_0 = 0,018$; для осины: $a = 11,2$ мм, $b_0 = 0,072$);

D_i – диаметр ствола на расстоянии 1,5 метра от нижнего торца, мм.

Сбег стволов S_i в общем виде

$$S_i = \frac{\left(\left[D_{(1+i)} - 2\Delta_{(1+i)} \right] - \left[d_{(1+i)} - 2\Delta_{(1+i)} \right] \right)}{l_{\text{баз}}}, \quad (3)$$

где $D_{(1+i)}$ – диаметр ствола на расстоянии 1,5 м от плоскости среза, см;

$d_{(1+i)}$ – диаметры отрезков ствола на расстоянии $l_{\text{баз}}$ от плоскости отрезка, где замеряли $D_{(1+i)}$.

Применительно к производству деталей опор минимальное значение $l_{\text{баз min}}$ может равняться 3,5 м, т.е. $l_{\text{баз min}} = l_{\text{ном min}}$ (см. таблицу).

Рассчитаем прогнозируемую расчетную длину зоны деталей опор $l_{\text{зоны}}$:

$$l_{\text{зоны}} = \frac{D_{(1+i)} - d_{\text{min}(1+i)} - 2\Delta_{(1+i)}}{S_i}, \quad (4)$$

где $d_{\text{min}(1+i)}$ – минимальные планируемые диаметры верхнего торца деталей опор, см.

Оптимальную схему раскромия ствола на зоны деталей опор найдем из следующего условия:

$$l_{\text{зоны}} - (l_1 + l_2 + \dots + l_i) \rightarrow \min. \quad (5)$$

Здесь $l_1 \dots l_i$ – номинальные длины отрезков, которые можно выпилить из расчетной зоны ствола, м.

В случае, если две или более схем раскромия дают одинаковую разницу между длиной зоны и суммой длин деталей, предпочтение следует отдавать схеме, в которой длина первой опоры наибольшая.

Объем опор и сумма товарной продукции из каждого ствола могут быть определены по выражению

$$\sum_1^i \Pi\Pi = \frac{\pi \left(\frac{D_{k1} + d_{b1}}{2} \right)^2}{4} l_1 \Pi_1 + \frac{\pi \left(\frac{D_{k2} + d_{b2}}{2} \right)^2}{4} l_2 \Pi_2 + \dots + \frac{\pi \left(\frac{D_{ki} + d_{bi}}{2} \right)^2}{4} l_i \Pi_i, \quad (6)$$

где $D_{k1} \dots D_{ki}$ – диаметры опор в нижнем отрезе, м;

$d_{b1} \dots d_{bi}$ – диаметры опор в верхнем отрезе, м;

$\Pi_1 \dots \Pi_i$ – цена за реализацию 1 м³ опор, р./м³.

Контрольное измерение диаметров опор в верхнем отрезе позволяет исключить попадание сортиментов, имеющих меньшие значения d_b , в карманы-накопители, а затем и потребителям опор.

Результаты раскряжевки и сортировки, т. е. объем опор, рассортированных по размерным, породным и качественным признакам, можно оценивать и по стоимостному показателю, по количеству товарной продукции, производимой предприятием в различные временные отрезки.

Такой процесс автоматизированного управления раскряжевкой–сортировкой обеспечивает повышение эффективности деятельности предприятия при минимальных затратах, так как предлагаемая система управления может устанавливаться на любых существующих раскряжевочных установках с продольным перемещением хлыста, например на ПЛХ-ЗАС, ЛО-15С, ЛО-15А, ЛО-30 и др.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бугаев Ю.В. Применение векторной оптимизации на графах для моделирования раскряжения хлыстов // Лесн. журн. 2001. № 3. С. 84–88. (Изв. высш. учеб. заведений).
2. Григорьев И.В., Власов Ю.Н. Поперечная распиловка круглых лесоматериалов // Леспроминформ. 2013. № 1. С. 88–93.
3. Локштанов Б.М., Гулькво А.Е., Григорьев И.В. Повышение эффективности подготовки низкокачественной древесины к производству технологической щепы // Природные ресурсы и экология Дальневосточного региона: материалы Междунар. науч.-практ. форума. Хабаровск.: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2013. С. 117–121.
4. Пятякин В.И., Редькин А.К., Базаров С.М. Технология и оборудование лесных складов и лесообрабатывающих цехов: учеб. для студ. вузов; под ред. В.И. Пятякина. М.: Изд-во МГУЛ, 2008. 384 с.
5. Технология и оборудование лесопромышленных производств. Технология и машины лесосечных работ: учеб. пособие / И.В. Григорьев, А.К. Редькин, В.Д. Валяжонков, А.В. Матросов. СПб.: Изд-во ЛТА, 2010. 330 с.
6. Тихонов И.И. Автоматизированные системы управления технологическими процессами лесозаготовок (АСУТП): метод. указания по курсовому проектированию. СПб.: СПбГЛТА, 2007. 27 с.

Поступила 30.03.12

Optimization of Tree Length Cross-Cutting at Timber-Handling Bases of Forest Holding Companies When Sawing Out Raw Material for Mast-Impregnation Plants

O.A. Kunitskaya¹, Candidate of Engineering, Associate Professor

I.I. Tikhonov¹, Candidate of Engineering, Associate Professor

D.E. Kunitskaya¹, Postgraduate Student

I.V. Grigoryev¹, Doctor of Engineering, Professor

A.E. Zemtsovsky², Candidate of Engineering, Associate Professor

¹St. Petersburg State Forest Technical University, Institutskiy pereulok, 5, St. Petersburg, 194021, Russia

E-mail: tlzp@inbox.ru

²Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russia

E-mail: alz@atnet.ru

The paper suggests a new method and hardware for tree length dressing and cross-cutting, recommended for timber storehouses of holding companies with impregnation plants. The method can significantly improve the performance as well as yield of special assortments – raw material for mast-impregnation plants.

In order to optimize the yield of net production, including raw material for mast-impregnation plants, we suggest using automated systems controlling the dressing and cross-cutting of tree length.

With relatively small cross-cutting volumes (within 100 thousand m³ per year for small storehouses), we recommend using cross-cutters with lengthwise movement of tree length (LO-15S, LO-15A, LO-30, etc.), equipping them with the system of automated control (SAC) of tree length dressing and cross-cutting at their lengthwise movement.

SAC includes a memory unit with parameters of supports planned for production; a unit measuring tree length parameters; a mechanism moving the tree length and a cutting mechanism. All of them are functionally related to each other, to the unit measuring tree length parameters and the memory unit (units for calculation of bark thickness, tree length rise, and interaction distance; a unit calculating the best cutting plan for tree length; comparators and correctors; an actuator for tree length moving and cutting, as well as devices sorting and marking the obtained supports). SAC is able to consistently optimize the dressing of assortment zones by length when sawing each support.

The operator has to enter the parameters of supports planned for production and, if necessary, their price, as well as indicate the species of the wood to be cross-cut, enter this parameter into the control system, identify various defects of the trunk and, if necessary, switch over to the manual control of dressing and cross-cutting.

The results of cross-cutting and sorting, i.e. volumes of supports sorted by size, species and qualitative characteristics, can be evaluated both in terms of cost and amount of commercial products manufactured by the enterprise at different periods of time.

Keywords: cross-cutting, wooden supports, timber holdings.

REFERENCES

1. Bugaev Ju.V. Primenenie vektornoy optimizatsii na grafakh dlya modelirovaniya raskroya khlystov [Use of Vector Optimization on the Graphs for Wood Cutting Modelling]. *Lesnoy zhurnal*, 2001, no. 3, pp. 84–88.
2. Grigor'ev I.V., Vlasov Yu.N. Poperechnaya raspilovka kruglykh lesomaterialov [Roundwood Cross-Cutting]. *Lesprominform*, 2013, no. 1, pp. 88–93.
3. Lokshantov B.M., Gul'ko A.E., Grigor'ev I.V. Povyshenie effektivnosti podgotovki nizkokachestvennoy drevesiny k proizvodstvu tekhnologicheskoy shchepy [Increasing the Efficiency of Low-Quality Wood Preparation for Wood Chips Production]. *Prirodnye resursy i ekologiya Dal'nevostochnogo regiona: materialy Mezhdunarodnogo nauchno-prakticheskogo foruma* [Natural Resources and Ecology of the Far East: Proc. Int. Theoret. and Pract. Forum]. Khabarovsk, 2013, pp. 117–121.
4. Patyakin V.I., Red'kin A.K., Bazarov S.M. *Tekhnologiya i oborudovanie lesnykh skladov i lesoobrabatyvayushchikh tsekhov* [Technology and Equipment of Lumberyards and Wood Processing Workshops]. Moscow, 2008. 384 p.
5. Grigor'ev I.V., Red'kin A.K., Valyazhonkov V.D., Matrosov A.V. *Tekhnologiya i oborudovanie lesopromyshlennykh proizvodstv. Tekhnologiya i mashiny lesosechnykh robot* [Timber Production Technology and Equipment. Technology and Machines for Cutting Area Work]. St. Petersburg, 2010. 330 p.
6. Tikhonov I.I. *Avtomatizirovannye sistemy upravleniya tekhnologicheskimi protsessami lesozagotovok (ASUTP)* [Automated Logging Process Control Systems]. St. Petersburg, 2007, 27 p.



МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 674.093.026

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ В СЛОИСТОЙ ДРЕВЕСИНЕ
ПРИ ЕЕ СЖАТИИ РАЗНОТОЛЩИННОЙ ПРЕСС-ФОРМОЙ**

© А.А. Лукаш, канд. техн. наук, доц.

Брянская государственная инженерно-технологическая академия, пр. Ст. Димитрова, 3,
г. Брянск, Россия, 241037

E-mail: mr.luckasch@yandex.ru

Рельефная фанера имеет объемный рисунок на лицевой поверхности, что позволяет использовать ее в качестве облицовочного материала. При склеивании рельефной фанеры применяется пресс-форма с разной толщиной в поперечном сечении. Из-за чего давление на пакет шпона на участках выступов и впадин пресс-формы будет различным. Вследствие этого лицевая сторона рельефной фанеры после склеивания имеет рисунок, который является обратным фотографическим отображением рисунка пресс-формы.

Цель данных исследований – установление деформаций, возникающих при склеивании рельефной фанеры. Задача исследований – получение параметров режима склеивания, позволяющих прогнозировать толщину рельефной фанеры.

При проведении исследований использовались методики однофакторного классического эксперимента и двухфакторного эксперимента по плану Бокса. Для поиска оптимальных значений параметров режима применяли градиентный метод.

Изучение изменения деформации пакета шпона по времени показало, что в течение первых двух минут происходит интенсивное возрастание деформации, при дальнейшей выдержке под давлением деформации возрастают незначительно. Поэтому при склеивании рельефной фанеры рекомендуется применять диаграмму изменения давления, в которой продолжительность выдержки при максимальном давлении составляет 25 % от общей продолжительности выдержки под давлением.

Толщину фанеры после склеивания определяли по остаточным деформациям, которые зависят от основных параметров режима склеивания – давления и продолжительности выдержки под давлением. Установлено, что при увеличении давления прессования от 2,0 до 5,0 МПа остаточные деформации наружных и внутренних слоев интенсивно возрастают. При дальнейшем увеличении давления прессования (от 5,0 до 8,0 МПа) остаточные деформации возрастают незначительно.

Таким образом, оптимальными параметрами режима склеивания рельефной фанеры являются давление $P = 3,3$ МПа и продолжительность склеивания $t = 5$ мин. Остаточные деформации в фанере на участках выступов пресс-формы при этих значениях составляют 38 %.

Ключевые слова: деформация, древесина, давление, температура, упрессовка, склеивание, пресс-форма.

Создание новых видов древесных материалов базируется на придании им необходимых потребительских свойств [3]. Склеенная по традиционной технологии фанера имеет плоскую форму, что ограничивает область ее применения как облицовочного материала. Можно улучшить внешний вид фанеры путем создания объемного рисунка на ее лицевой поверхности. Склеивание фанеры и создание объемного профиля на лицевой поверхности происходит одновременно под воздействием высокой температуры и давления [6]. Для этого применяют специальную пресс-форму, закрепленную на одной из нагреваемых плит пресса (рис. 1).

Рабочая поверхность пресс-формы изготовлена с выступами и впадинами, что в поперечном сечении делает ее разнотолщинной. Из-за разницы в толщине поперечного сечения пресс-формы степень сжатия шпона на выступах и впадинах будет различной, и это приведет к появлению в древесине, прессуемой на этих участках, различных по величине остаточных деформаций. При этом лицевая поверхность листа фанеры, которая при прессовании соприкасается с поверхностью разнотолщинного приспособления, получается рельефной, а поверхность, соприкасающаяся с нагревательной плитой, остается плоской [2].

Рисунок на поверхности фанеры является обратным фотографическим отображением рисунка пресс-формы. Чем больше разница между толщиной фанеры, склеенной на участках впадин пресс-формы, и толщиной фанеры, склеенной на участке выступов, тем лучше будет внешний вид материала. Объемный рисунок на лицевой поверхности рельефной фанеры определяет качество и цену этой фанеры [5].

При склеивания шпона в разнотолщинной пресс-форме в нем появляются деформации изгиба, среза и сжатия, механизм их образования изложен в исследованиях [4]. В данной работе более подробно рассматриваются деформации сжатия, от которых зависит качество объемного рисунка. Перед нами стояла задача – исследовать процесс деформирования лущеного шпона при его склеивании в разнотолщинной пресс-форме. Основными факторами, влияющими на деформации сжатия, являются давление, температура плит пресса и продолжительность склеивания.

Давление на пакет шпона – один из важных параметров, обеспечивающих фиксацию размеров, задаваемых пресс-формой. Кроме того, давление также необходимо для переноса клея на смежную поверхность и сохранения

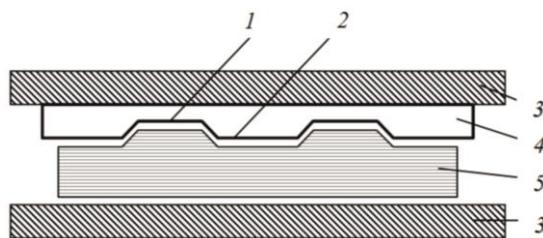


Рис. 1. Схема устройства для изготовления рельефной фанеры: 1 – впадины пресс-формы; 2 – выступы пресс-формы; 3 – плиты пресса; 4 – разнотолщинная пресс-форма; 5 – пакет шпона

контакта между склеиваемыми поверхностями в период образования клеевых связей. Вследствие применения давления появляются упругие и остаточные деформации в древесине, величина которых зависит от скорости нагружения, температуры плит пресса, влажности и породы древесины, продолжительности выдержки под давлением и т.д. [1].

Под деформативностью анизотропного материала – древесины – подразумевают ее способность изменять свои размеры и форму под воздействием усилий [8, 9]. Показатели деформативности древесины: модули упругости, коэффициенты поперечной деформации, модули сдвига, длительные модули упругости и др. Древесина представляет собой комплекс природных полимеров, имеющих длинные гибкие цепные молекулы. Такая особенность строения полимеров определяет особый характер их поведения под нагрузкой. При приложении усилий к полимеру могут возникать следующие виды деформаций: упругие – вследствие обратимого изменения средних междучастичных расстояний; высокоэластические – связаны с обратимой перегруппировкой частиц (звеньев цепных молекул), при этом объем тела не изменяется; вязкотекучие – обусловлены необратимым смещением молекулярных цепей, объем тела при этом не изменяется [8, 9].

В момент создания давления древесина ведет себя как упругое тело. Под действием температуры и давления она медленно уплотняется, т. е. ведет себя как вязкое тело. После снятия давления образуются остаточные деформации, что позволяет считать древесину пластическим телом. Поэтому для теоретического исследования деформационных процессов при склеивании древесины была выбрана реологическая модель упруговязкопластического тела [8].

При приложении нагрузки мгновенно появляется деформация $\varepsilon' = \sigma/H$ (где σ – напряжение; H – мгновенный модуль упругости). Затем при постоянном напряжении возрастают эластические деформации по криволинейному закону, и при длительной выдержке деформация стремится к $\varepsilon' = \sigma/E$ (где E – длительный модуль упругости). После разгрузки упругая деформация немедленно возвращается, а эластическая деформация с течением времени уменьшается до определенного остаточного значения $\varepsilon'_{\text{ост}}$.

Образующаяся при сжатии древесины общая деформация состоит из упругой части, исчезающей после снятия давления, и остающейся части, не исчезающей после снятия давления. В отличие от других материалов, в частности от стали, остаточные деформации в древесине появляются сразу же после приложения к ней сжимающих сил, вследствие чего считают, что у нее нет предела упругости. Следовательно, если к древесине приложить сжимающую силу, а затем снять ее, конечный размер образца будет несколько меньше начального его размера, но разница между ними будет невелика. Так обстоит дело с массивной древесиной.

При склеивании слоистого материала горячим способом положение несколько иное. Влага, содержащаяся в древесине, и влага, вносимая в нее вместе с клеем, а также подводимое к ней от внешнего источника тепло заметно

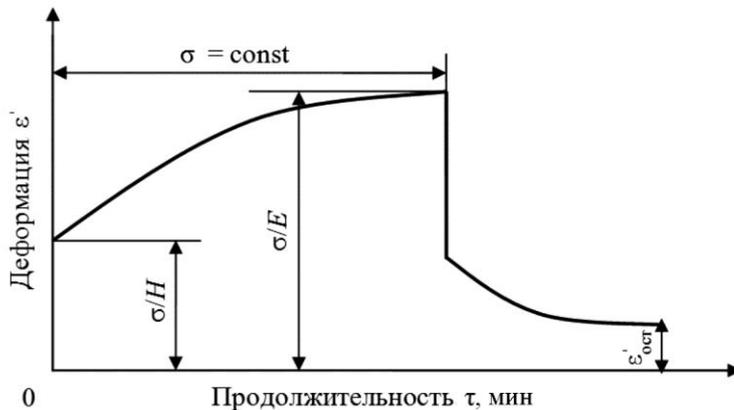


Рис. 2. Закономерность деформирования древесины как упруговязкопластического тела (ε' — относительная величина)

увеличивают деформации древесины [8, 9]. При последующей выдержке склеиваемого материала под давлением упругость древесины по мере удаления влаги постепенно снижается, т. е. упругие деформации перерождаются в пластические. Наполнитель целлюлозного скелета при этом находится в затвердевшем состоянии, и силы трения достигают значительной величины. Накопленные в целлюложном скелете силы упругости оказываются недостаточными для полного восстановления первоначального размера склеиваемого шпона.

Фиксацию формы, приданной материалу, обеспечивает и клей, проникший в древесину через трещины и вскрытые сосуды. После снятия внешнего давления происходит некоторое восстановление размера склеиваемого материала, но наблюдаемая при этом обратимость пластической деформации объясняется не восстановлением целлюлозного скелета, а течением цементирующих его веществ — лигнина и гемицеллюлозы.

Закономерность деформирования древесины в общем виде как упруговязкопластического тела (рис. 2) зависит от параметров режима склеивания и в каждом конкретном случае может изменяться в определенных пределах. Это и вызвало необходимость проведения дальнейших исследований.

Важным условием обеспечения качественного склеивания является характер изменения давления в процессе прессования. Давление необходимо для приведения в соприкосновение склеиваемых поверхностей и переноса клея на противоположную поверхность. Величина давления зависит от породы древесины, неплоскостности плит пресса, разнотолщинности шпона и обычно составляет 1,8...2,2 МПа [1]. При прессовании влага, содержащаяся в древесине и клее, переходит в газообразное состояние, и при размыкании плит пресса может произойти разрушение клеевых связей с образованием пузырей на поверхности листа фанеры. Для облегчения выхода парогазовой

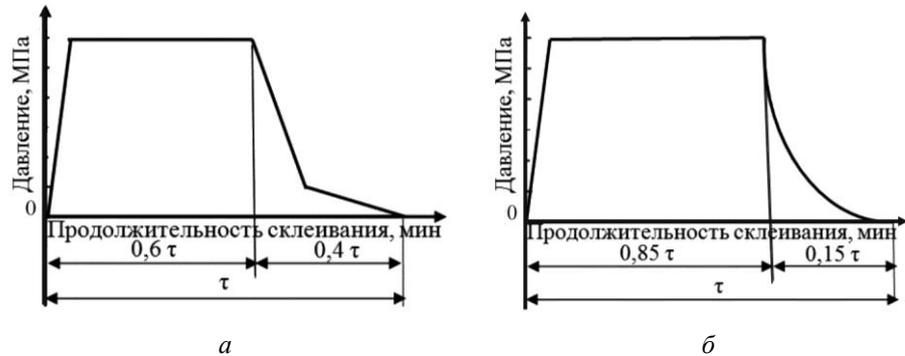


Рис. 3. Диаграммы ступенчатого (а) и плавного (б) изменения давления при склеивании шпона

смеси из пакета в процессе склеивания применяют режим ступенчатого или плавного снижения давления (рис. 3).

При общей продолжительности склеивания τ в первом случае (рис. 3, а) пакет шпона выдерживают при максимальном давлении в течение времени $0,6\tau$, затем в течение $0,4\tau$ снижают давление ступенчато, в 2 этапа. Во втором случае (рис. 3, б) пакет шпона выдерживают при максимальном давлении в течение времени $0,85\tau$, затем в течение $0,15\tau$ давление плавно снижают. Этот способ более предпочтителен, но более сложен в осуществлении.

Для уточнения диаграммы изменения давления на пакет шпона было изучено деформирование пакета шпона при склеивании рельефной фанеры. Постоянные параметры исследования:

Расход клея.....	100...110 г/м ²
Продолжительность выдержки под давлением.....	4 мин
Количество слоев в пакете шпона.....	5
Толщина лушеного шпона.....	1,75 мм
Влажность шпона.....	8 %
Температура плит пресса.....	130 °С
Марка смолы.....	КФ 120-65

Склеивали пакеты шпона с использованием разнотолщинной пресс-формы при давлении $P = 2, 3$ и 4 МПа. Через каждые 10 с измеряли толщину пакета шпона, на основе чего определялись деформацию. Результаты исследования, приведенные на рис. 4, показывают, что деформации возрастают с увеличением продолжительности выдержки под давлением и величины давления P . При $P = 2, 3$ и 4 МПа в течение первой минуты нарастание деформаций происходит интенсивно, в последующем нарастание деформаций происходит незначительно. После снятия давления с пакета (на четвертой минуте) древесина частично восстанавливается. Упрессовка при этом составляет 25...30 %. При $P = 2$ МПа упрессовка составляет 20 %. Чем раньше начнется снижение давления, тем меньше останется влаги в пакете и тем меньше вероятность образования расслоений в пакете шпона после размыкания плит пресса.

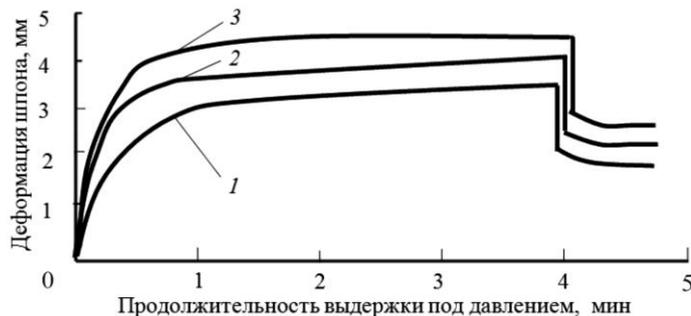


Рис. 4. Зависимость деформации шпона от продолжительности выдержки под различным давлением: 1 – 2 МПа; 2 – 3; 3 – 4 МПа

Установлено, что после выдержки пакета в прессе в течение первых двух минут происходит интенсивное увеличение деформации пакета шпона. Затем изменение толщины пакета происходит незначительно. Следовательно, при склеивании рельефной фанеры можно рекомендовать применять диаграмму изменения давления, в которой продолжительность выдержки при максимальном давлении составляет 25 % от общей продолжительности выдержки под давлением.

Необходимым условием получения качественной лицевой поверхности является наличие большой глубины рельефа. Максимальная глубина рельефа достигается в том случае, когда упрессованная зона будет иметь максимальную упрессовку, а неупрессованная – минимальную.

Величина упрессовки зависит от температуры плит пресса, давления прессования, продолжительности выдержки под давлением и др. факторов. Увеличить глубину рельефа при склеивании рельефной фанеры можно путем увеличения давления, однако это не всегда позволяют параметры пресса. Кроме того, есть ограничения и в уплотнении самой древесины. В исследованиях [9] установлено, что древесина будет деформироваться до тех пор, пока плотность древесного вещества, из которого состоят стенки клеток, не достигнет 1560 кг/м^3 . Исследования по установлению максимального давления при склеивании рельефной фанеры были проведены на следующем этапе.

Пакет шпона может быть собран из листов разной толщины при условии их симметричности относительно его центральной плоскости. Наружные и внутренние слои имеют разные условия склеивания. Склеиваемый пакет имеет начальную влажность, которая складывается из влажности самих листов и влажности, вносимой клеем. При создании давления наружные слои соприкасаются с нагретыми плитами пресса, что способствует уменьшению их упругости. Внутренние непрогретые слои имеют большую упругость, чем нагретые наружные из-за меньшей интенсивности прогрева. В результате этого остаточные деформации наружных слоев будут больше, чем внутренних. Поэтому для установления численных значений деформаций в наружных и

внутренних слоях были проведены исследования влияния давления и продолжительности выдержки на упрессовку отдельно для наружных и внутренних слоев. В ходе поисковых исследований установлены постоянные (порода – береза; слойность пакета – 5; толщина шпона – 1,5 мм; температура плит пресса – 140 °С; смола марки КФ 120-65; расход клея – 110 г/м²) и переменные (давление – от 2 до 8 МПа; продолжительность выдержки под давлением – от 3 до 5 мин). Факторы проведения исследований приведены в табл. 1.

Таблица 1
Уровни и интервалы варьирования переменных факторов

Факторы	Обозначения		Интервал варьирования	Уровни варьирования		
	в натуральном виде	в кодированном виде		Нижний –	Основной 0	Верхний +
Давление прессования, МПа	P	X_1	3	2	5	8
Продолжительность выдержки под давлением, мин	t	X_2	1	3	4	5

Учитывая, что наружные и внутренние слои после склеивания имеют различные остаточные деформации, упрессовку шпона определяли для наружных и внутренних слоев отдельно. Перед склеиванием измеряли микрометром толщину наружных и внутренних слоев шпона. Для предотвращения полного отверждения в карбамидоформальдегидную смолу КФ 120-65 не добавляли отвердитель. После склеивания пакет разделяли по слоям и определяли толщину соответствующих листов шпона.

При реализации исследований применялся двухфакторный план Бокса В2, который имеет хорошие статистические характеристики и включает небольшое число экспериментальных точек. В результате было получено уравнение регрессии, которое адекватно описывает зависимость упрессовки *наружных слоев* от давления и продолжительности выдержки под давлением при 5 %-м уровне значимости:

$$Y = 44,4 + 12 X_1 + 4,5 X_2 - 2,4 X_1^2 - 3,6 X_1 X_2; \quad (1)$$

$$-1 \leq X_1 \leq +1;$$

$$-1 \leq X_2 \leq +1.$$

Из уравнения регрессии (1) видно, что линейные коэффициенты при всех параметрах X_1 и X_2 положительны, т. е. между выходной величиной и переменными факторами существует прямая зависимость. Коэффициент при квадратичном эффекте параметра давления X_1^2 и парном взаимодействии $X_1 X_2$ отрицательный, что указывает на выпуклость функции (ветви параболы направлены вниз). Коэффициент при квадратичном эффекте параметра X_2^2 в формуле отсутствует, так как он незначим и его влияние на функцию отклика

незначительно. Переведем для большей наглядности уравнение регрессии в натуральный вид:

$$Y = -24,27 + 11,47 P + 10,75 t - 0,26 P^2 - 1,2 P t; \quad (2)$$

$$2 \leq P \leq 8;$$

$$3 \leq t \leq 5.$$

Зависимость упрессовки *внутренних слоев* от давления и продолжительности выдержки под давлением:

$$Y = 39,4 + 6,5 X_1 + 8,3 X_2 - 2,9 X_1^2 - 1,5 X_2^2 - 1,3 X_1 X_2; \quad (3)$$

$$-1 \leq X_1 \leq +1;$$

$$-1 \leq X_2 \leq +1.$$

Из уравнения (3) видно, что линейные коэффициенты при всех параметрах X_1 и X_2 положительны, т. е. между выходной величиной и переменными факторами существует прямая зависимость. Коэффициент при квадратичных эффектах параметров давления X_1^2 , температуры X_2^2 и парном взаимодействии $X_1 X_2$ отрицательный, что указывает на выпуклость функции. Запишем уравнение регрессии в натуральном виде:

$$Y = -49,8 + 7,1 P + 22,5 t - 0,32 P^2 - 1,5 t^2 - 0,43 P t; \quad (4)$$

$$2 \leq P \leq 8;$$

$$4 \leq t \leq 8.$$

Как видно из уравнений (1) и (3), наибольшее влияние на упрессовку наружных и внутренних слоев оказывает параметр X_2 – продолжительность выдержки под давлением, несколько меньше влияет параметр X_1 – давление прессования. Чтобы установить влияние переменных факторов на упрессовку слоев, по уравнениям (2) и (4) построены графические зависимости (рис. 5).

Анализируя полученные графики, можно сделать вывод о зависимости упрессовки от давления прессования и продолжительности выдержки под давлением. С увеличением продолжительности выдержки под давлением от 3 до 5 мин упрессовка наружных слоев возрастает пропорционально продолжительности. С увеличением давления прессования от 2 до 5 МПа упрессовка

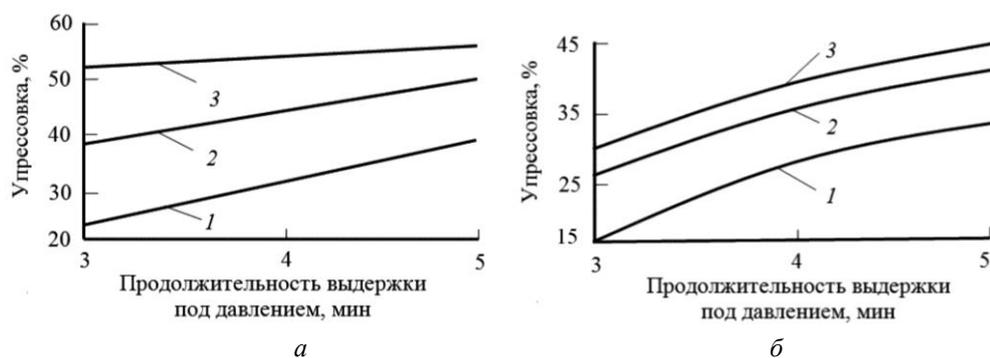


Рис. 5. Зависимость упрессовки наружных (а) и внутренних (б) слоев от продолжительности выдержки под различным давлением: 1 – 2 МПа; 2 – 5; 3 – 8 МПа

наружных слоев возрастает интенсивно, но при дальнейшем увеличении давления прессования до 8 МПа упрессовка наружных слоев происходит уже менее интенсивно.

Из рис. 5, а видно, что при $P = 8$ МПа с увеличением продолжительности выдержки от 3 до 5 мин упрессовка наружных слоев возрастает от 53 до максимального значения 55 %, что составляет менее 4 %. Максимальное значение упрессовки 56 % при давлении 8 МПа и выдержке под давлением в течение 5 мин. Однако из графика видно, что при продолжительности выдержки под давлением 5 мин с увеличением давления от 5 до 8 МПа (т. е. на 60 %) упрессовка шпона возрастает от 50 до 54 %, т. е. 4 %.

Аналогично и с графиками, представленными на рис. 5, б.

Для поиска оптимального решения был применен градиентный метод [7], который заключается в том, чтобы в процессе поиска экстремума двигаться каждый раз в направлении наибольшего возрастания целевой функции. Градиентный метод позволяет приблизиться к точке оптимума за конечное число шагов в направлении, в котором целевая функция возрастает быстрее всего. Это направление называется градиентом. На первой итерации вычисляют составляющие градиента по следующим формулам:

$$\begin{cases} P_1^{(1)} = P_1^{(0)} + \lambda \frac{\partial y}{\partial P_1} \Big|_{P^{(0)}}; \\ t_1^{(1)} = t_1^{(0)} + \lambda \frac{\partial y}{\partial t_1} \Big|_{t^{(0)}}, \end{cases} \quad (5)$$

где λ – шаг;
 $P_1^{(0)}$ и $t_1^{(0)}$ – координаты начальной точки;
 $P_1^{(1)}$ и $t_1^{(1)}$ – координаты первой точки.

Частные производные зависимости по dP и dt :

$$\begin{cases} \frac{\partial Y}{\partial P} = -0,52P + 11,5 - 1,2t; \\ \frac{\partial Y}{\partial t} = 1,5P - 1,2t. \end{cases} \quad (6)$$

Последующие итерации производят аналогично. Вычисления заканчиваются, когда разница между последующим и предыдущим значением целевой функции не превышает 5 % (уровень значимости q). За начальную точку принимают $P = 2,00$ МПа и $t = 3,00$ мин. Результаты вычислений представлены в табл. 2.

Частные производные зависимости по dP и dt :

$$\begin{cases} \frac{\partial Y}{\partial P} = 7,1 - 0,64P - 0,43t; \\ \frac{\partial Y}{\partial t} = 22,5 - 3t - 0,43P. \end{cases} \quad (7)$$

Таблица 2

Результаты оптимизации упрессовки

Итерация	Координаты точек		Значение целевой функции Y	Отношение к предыдущему, %
	P	t		
<i>Наружные слои</i>				
Начальное значение	2,00	3,00	21,9	–
1-я итерация	2,70	3,81	32,5	32,6
2-я итерация	3,52	4,54	41,5	21,6
3-я итерация	3,94	4,98	45,8	9,4
4-я итерация	4,30	5,00	47,0	3,2
<i>Внутренние слои</i>				
Начальные координаты	2,00	3,00	14,4	–
1-я итерация	2,70	4,26	25,8	44,0
2-я итерация	3,05	4,89	37,7	31,6
3-я итерация	3,34	5,00	38,2	1,3

На четвертой итерации увеличение целевой функции составляет 3,2 %, что меньше уровня значимости $q = 5$ %, поэтому экстремум найден при значениях $P = 4,30$ МПа и $t = 5,00$ мин. Упрессовка наружных слоев при этих значениях составляет 47,0 %.

Вычисление следующих точек производится аналогично. Вычисления заканчиваются, когда разница между последующим и предыдущим значением целевой функции ≤ 5 %. За начальную точку принимают $P = 2,00$ МПа и $t = 3,00$ мин. На четвертой итерации увеличение целевой функции составляет 1,3 %, что меньше 5 %-го уровня значимости, поэтому экстремум найден при координатах $P = 3,34$ МПа и $t = 5,00$ мин. Упрессовка внутренних слоев при этих значениях составляет 38,2 %. Результаты вычислений приведены в табл. 2.

Таким образом, установлено, что после выдержки пакета в прессе в течение первых двух минут происходит интенсивное увеличение деформации пакета шпона, затем толщина пакета снижается незначительно. Следовательно, при склеивании рельефной фанеры можно рекомендовать применять диаграмму изменения давления, в которой продолжительность выдержки при максимальном давлении составляет 25 % от общей продолжительности выдержки под давлением.

При $P = 4,30$ МПа и $t = 5,00$ мин упрессовка наружных слоев составляет 47,0 %, при $P = 3,34$ МПа и $t = 5,00$ мин упрессовка внутренних слоев – 38,2 %. Эти условия позволяют прогнозировать качественные показатели лицевой поверхности рельефной фанеры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Куликов В.А. Проблема точности изготовления клееной слоистой древесины: дис. ... д-ра техн. наук. Л., 1966. 419 с.

2. Лукаш А.А. Технологические особенности производства рельефной фанеры // Лесн. журн. 2008. № 5. С. 91–96. (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Лукаш А.А. Методика создания новых видов древесных материалов // Лесн. журн. 2011. №2. С. 113–117. (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Лукаш А.А. Деформации древесины при склеивании рельефной фанеры // Лесн. журн. 2011. № 2. С. 119–123. (Изв. высш. учеб. заведений).
5. Лукаш А.А. Определение цены на новые виды фанерной продукции // Лесн. журн. 2011. № 2. С. 134–137. (Изв. высш. учеб. заведений).
6. Пат. 2212334, RU С 27 В 27 D 3/00. Устройство для склеивания древесных слоистых материалов / Лукаш А.А. № 200013237/13; заявл. 22.12.2000; опубл. 20.09.2003, Бюл. № 26. 2 с.
7. Пижурич А.А., Пижурич А.А. Основы научных исследований в деревообработке. М.: МГУЛ, 2005. 304 с.
8. Уголев Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения: учеб. для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: МГУЛ, 2007. 340 с.
9. Хухрянский П.Н. Прессование древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1964. 351 с.

Поступила 04.03.13

The Study of Deformations in Laminated Wood Being Compressed by a Mould with Various Thickness

A.A. Lukash, Candidate of Engineering, Associate Professor

Bryansk State Engineering and Technological Academy, Prospekt Stanke Dimitrova, 3,
Bryansk, 241037, Russia
e-mail: mr.lukasch@yandex.ru

Relief plywood has a volumetric pattern on its front surface, which allows us to use it as facing material. At relief plywood glueing we use a mould with various cross-section thickness, which makes the pressure on the veneer package at mould projections and hollows different. Consequently, the front side of relief plywood after glueing has a raised pattern which is the reverse photographic image of the mould pattern.

The research aimed to establish the deformations at relief plywood glueing.

The objective was to set the parameters of glueing mode, allowing us to predict the thickness of relief plywood. The author used the method of single-factor and two-factor experiments according to Box-Behnken design. To find the optimal parameters of this mode the author used the gradient method.

Studying the time-deformation change of veneer package, the author established that during the first 2 minutes the deformation is increasing dramatically. Continued pressuring does not increase the deformation significantly. Thus, when glueing relief plywood the author recommends using pressure diagram stating that duration of exposure to the maximum pressure is 25 % of the total duration of pressuring.

Plywood thickness after glueing depends on residual deformation, which, in its turn, depends on the basic parameters of glueing mode: pressure and duration of exposure to pressure. It was found that compacting pressure rising from 2.0 to 5.0 MPa makes residual deformation of outer and inner layers increase drastically. Further rise in compacting pressure from 5.0 to 8.0 MPa does not produce any significant increase in residual deformation.

Thus, the optimal parameters of relief plywood gluing are the pressure $P = 3.3$ MPa and duration of gluing $t = 5$ min. The residual deformation of plywood in the areas of mould projections at these values are 38 %.

Keywords: deformation, wood, pressure, temperature, compressing, glueing, mould.

REFERENCES

1. Kulikov V.A. Problema tochnosti izgotovleniya kleenoy sloistoy drevesiny: dis. ... d-ra tekhn. nauk [Precision in Glued Laminated Wood Production: Dr. Tech. Sci. Diss.]. Leningrad, 1966. 419 p.
 2. Lukash A.A. Tekhnologicheskie osobennosti izgotovleniya rel'efnoy fanery [Technological Characteristics of Producing Relief Plywood]. *Lesnoy zhurnal*, 2008, no. 5, pp. 91–96.
 3. Lukash A.A. Metodika sozdaniya novykh vidov drevesnykh materialov [Creation Technique for New Types of Glued Wood Materials]. *Lesnoy zhurnal*, 2011, no. 2, pp. 113–117.
 4. Lukash A.A. Deformatsii drevesiny pri skleivanii rel'efnoy fanery [Wood Deformations at Glueing Relief Plywood]. *Lesnoy zhurnal*, 2011, no. 2, pp. 119–123.
 5. Lukash A.A. Opredelenie tseny na novye vidy fanernoy produktsii [Price Determination on New Types of Plywood Products]. *Lesnoy zhurnal*, 2011, no. 2, pp. 134–137.
 6. Lukash A.A. *Ustroystvo dlya skleivaniya drevesnykh sloistykh materialov* [A Device for Glueing Wood Laminates]. Patent RF no. 2212334.
 7. Pizhurin A.A. *Osnovy nauchnykh issledovaniy v derevoobrabotke* [Basic Research in Woodworking]. Moscow, 2005. 304 p.
 8. Ugolev B.N. *Drevesinovedenie s osnovami lesnogo tovarovedeniya* [Wood Science and Fundamentals of Forest Commodity Research]. 3rd ed. Moscow, 2007. 340 p.
 9. Khukhryanskiy P.N. *Pressovanie drevesiny* [Wood Pressing]. Moscow, 1964. 351 p.
-

УДК 630*

© **В.Ф. Дунаев, канд. техн. наук**

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова,
наб. Северной Двины, 17, г. Архангельск, Россия, 163002
E-mail:javzora@mail.ru

ОБ ИЗМЕНЧИВОСТИ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ И ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ЦИКЛЕ

Изложен процесс выделения каждого из распределений механических свойств, рассчитаны интегральные распределения предела прочности древесины в лесосеке и в пиломатериалах.

Установлена неизвестная ранее закономерность распределения модуля упругости и предела прочности в виде суммы четырех нормальных распределений со своими средними арифметическими и оценками средних квадратических. Первоначальные, природные распределения модуля упругости и предела прочности древесины хлыстов неуклонно ухудшались при длительном хранении сырья в штабелях на нижних складах, лесопильных предприятиях в зимних запасах, в межоперационных запасах после размерной сортировки бревен, в сушильных штабелях и штабелях готовой продукции. Отбор образцов выполнен на участке формирования длины пиломатериалов, поэтому информация о механических свойствах образцов накапливалась полностью.

При наличии теоретической базы неразрушающего контроля показателей механических свойств появилась возможность сортирования пиломатериалов по группам прочности и рационального использования древесины в конструкциях с гарантированной долговечностью.

Ключевые слова: модуль упругости, предел прочности, эквивалентное время нагружения, лесосека, пакет пиломатериалов, закон нормального распределения, среднее арифметическое, оценка среднего квадратического отклонения.

Современная компьютерная техника позволяет точнее и глубже анализировать результаты статистических исследований. Например, для анализа статистических характеристик – модуля упругости и предела прочности – используются их графическое представление в виде гистограмм и нормальный закон распределения [4], с помощью которого вычисляются генеральное среднее арифметическое значение модуля упругости при статическом изгибе, среднее квадратическое отклонение отдельных значений от генерального среднего арифметического.

Для оценки допустимости асимметрии и эксцесса опытного распределения вычисляются показатели асимметрии и эксцесса и их ошибки. Если асимметрия и эксцесс распределения экспериментальных значений модуля упругости при статическом изгибе допустимы, то само распределение считается подчиняющимся закону нормального распределения.

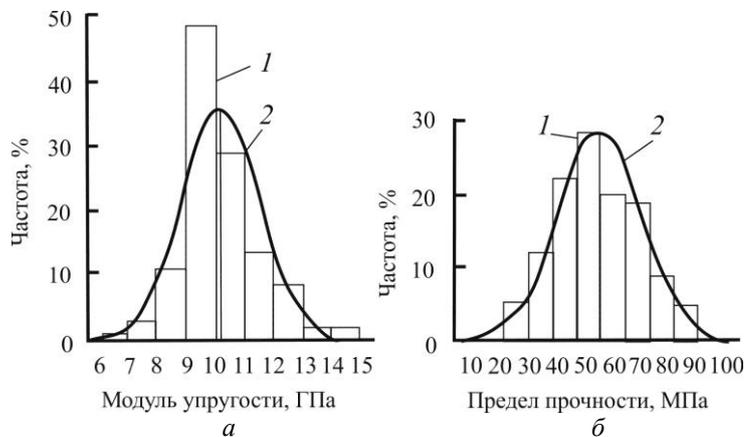


Рис. 1. Гистограммы (1) и кривые нормального распределения (2) модуля упругости (а) и предела прочности (б) древесины при статическом изгибе

На рис. 1 приведено нормальное распределение модулей упругости и предела прочности древесины сосны при статическом изгибе [4].

По оценке Ю.С. Соболева [4], генеральное среднее арифметическое значение модуля упругости при статическом изгибе $M = 10,17$ ГПа; среднее квадратическое отклонение отдельных значений от генерального среднего арифметического $\bar{\sigma} = 1,35$ ГПа; асимметрия распределения $A = 0,564$, эксцесс распределения $E = 1$; ошибка асимметрии $m_A = 0,224$ и эксцесса $m_E = 0,448$; отношения $A/m_A = 2,520 < 3$ и $E/m_E = 2,240 < 3$. Асимметрию и эксцесс распределения экспериментальных значений модуля упругости при статическом изгибе автор [4] считает небольшими и находящимися в пределах допустимых значений, а само распределение – подчиняющимся нормальному закону.

Среднее арифметическое генеральной совокупности вариантов предела прочности $M = 59,5$ МПа, среднее квадратическое отклонение отдельных значений от генеральной средней арифметической $\bar{\sigma} = 16,75$ МПа. При анализе предела прочности получено: $A = 0,151$; $E = -0,717$; $m_A = 0,224$ и $m_E = -0,448$; $A/m_A = 0,674 < 3$ и $E/m_E = 1,670 < 3$. Асимметрию и эксцесс автор [4] считает небольшими и находящимися в пределах допустимых значений, поэтому распределение результатов опытных измерений пределов прочности подчиняется нормальному закону.

В связи с тем, что кривые нормального распределения слабо контактируют с гистограммами, возникает предположение о наличии в экспериментальных данных нескольких распределений, обусловленных длительностью и многооперационностью технологических процессов лесопромышленного комплекса.

Оцифруем гистограммы, приведенные на рис. 1, и представим графики в виде ломаных линий (рис. 2), которые рассмотрим как сумму нескольких распределений, подчиняющихся нормальному распределению (рис. 3).

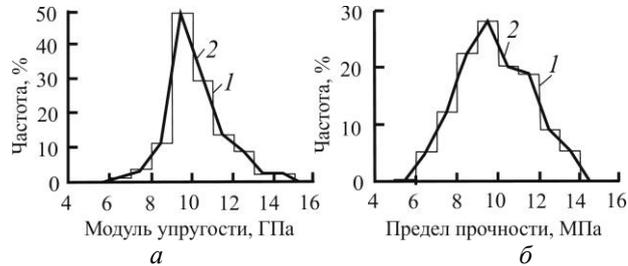


Рис. 2. Оцифрованные гистограммы (1) и ломаные линии (2), соединяющие средние точки участков соответствующих гистограмм модуля упругости (а) и предела прочности (б), без кривых нормального распределения

Для выделения слагаемых этой суммы сделаем несколько последовательных шагов.

Первый шаг. Выделим наиболее вероятное (с большей частотой) распределение и, совместив графики теоретического нормального распределения с экспериментальным, определим параметр этого распределения, обозначив его k_1 (рис. 3, а).

Второй шаг. Исключим из экспериментальных данных значения, соответствующие распределению k_1 (рис. 3, б). Затем, выделив экспериментальные значения с наибольшей частотой, подберем к полученным результатам еще одно нормальное распределение k_2 и определим его параметры.

Третий шаг. Исключим распределение k_2 из первого остатка (рис. 3, в). Второй остаток имеет два явно выраженных распределения, не связанных между собой. Определим параметры нормальных распределений k_3 и k_4 для этих участков.

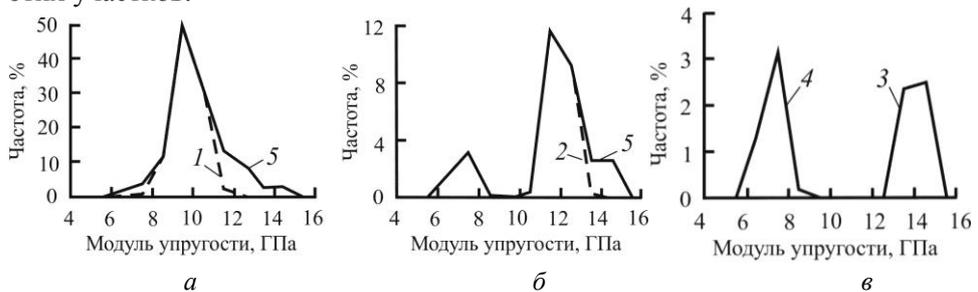


Рис. 3. Последовательное выделение (по наибольшей частоте встречаемости) групп образцов, модули упругости которых описываются нормальными законами распределения: а – наиболее вероятное распределение $k(1)$ с параметрами $E_1 = 9,24$ ГПа, $s_1 = 0,71$ ГПа, $F_1 = 92,50$; б – наиболее вероятное из первого остатка распределение $k(2)$ с параметрами $E_2 = 11,94$ ГПа, $s_2 = 0,51$ ГПа, $F_2 = 21,38$; в – распределения из второго остатка $k(3)$ и $k(4)$ соответственно с параметрами $E_3 = 14,01$ ГПа, $s_3 = 0,45$ ГПа, $F_3 = 5,05$ и $E_4 = 7,25$ ГПа, $s_4 = 0,53$ ГПа, $F_4 = 4,60$; 5 – исходное распределение модуля упругости

Четвертый шаг. Вычтем из второго остатка значения распределений k_3 и k_4 . Частота остатка от экспериментальных данных не превышает 0,1. Поэтому процесс выделения нормальных распределений можно прекратить.

Введем следующие обозначения:

E_1, E_2, E_3, E_4 – среднее арифметическое модулей упругости в группах;

s_1, s_2, s_3, s_4 – среднее квадратическое модулей упругости в группах;

F_1, F_2, F_3, F_4 – частота среднего арифметического модулей упругости в группах;

F_{mi} – экспериментальное значение частоты модуля упругости.

Итак, вместо одного нормального закона распределения модуля упругости древесины сосны следует рассматривать сумму четырех нормальных законов.

Рассчитаем долю каждой группы образцов с разными параметрами распределения: доля группы $k_1 = 0,748$; $k_2 = 0,173$; $k_3 = 0,041$; $k_4 = 0,039$.

У третьей группы наибольшее значение среднего арифметического модуля упругости, но доля ее очень мала ($k_3 = 0,041$).

В природных условиях вся древесина имела свойства, характерные для этой группы. В процессе заготовки, транспортировки и переработки под действием длительных внешних механических нагрузок, а также внутренних напряжений и деформаций свойства древесины могли только уменьшаться. Неоднократные процедуры погрузки–транспортирования–разгрузки и длительного хранения в штабелях приводят к снижению среднего арифметического и даже образованию новых групп: $E_3 = 14,01$ ГПа; $E_2 = 11,94$ ГПа; $E_1 = 9,74$ ГПа; $E_4 = 6,75$ ГПа.

В работе [3] показано, что уменьшение E однозначно связано с длительностью пребывания материала под нагрузкой следующим уравнением:

$$E_i = E_0 \cdot e^{-c \cdot t_{mi}}, \quad (1)$$

где E_i – модуль упругости материала, подвергавшегося нагружению, $i = 1, 2, 3, 4$;

E_0 – модуль упругости материала, не подвергавшегося нагружению (в нашем случае $E_0 = E_3 + 3 \cdot s_3 = 15,04$ ГПа);

c – коэффициент разрушения, для древесины сосны $c = 0,02$ /дн.

t_{mi} – эквивалентное время пребывания материала, в течение которого модуль упругости уменьшился от E_0 до E_i .

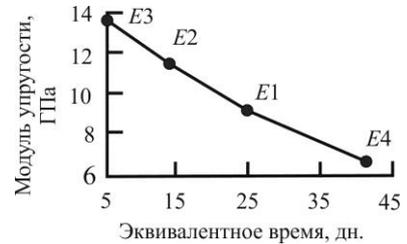
Решив уравнение (1) относительно t_{mi} можно вычислить и эквивалентное время пребывания материала под нагрузкой:

$$t_{mi} = 1/0,02 \ln(E_0/E_i); \quad (2)$$

где $t_{m1} = 5,36$ дн.-экв.; $t_{m2} = 13,72$ дн.-экв.; $t_{m3} = 24,36$ дн.-экв.; $t_{m4} = 40,88$ дн.-экв.

На рис. 4 показано уменьшение модуля упругости эквивалентного в результате длительного пребывания под нагрузкой.

Рис. 4. Зависимость модуля упругости от эквивалентного времени пребывания древесины под нагрузкой



Используя оцифрованную гистограмму предела прочности (см. рис. 2, б) и выполнив те же шаги, что и при обработке оцифрованных гистограмм модуля упругости, выделим четыре нормальных закона распределения (рис. 5):

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4$ – среднее арифметическое предела прочности в группах;

s_1, s_2, s_3, s_4 – среднее квадратическое предела прочности в группах;

Fp_1, Fp_2, Fp_3, Fp_4 – частота среднего арифметического предела прочности в группах;

F_{pi} – экспериментальное значение частоты предела прочности.

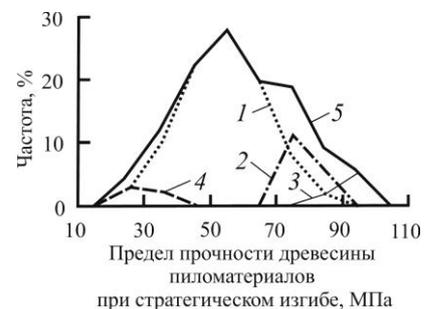
Рассчитаем долю каждой группы образцов с разными параметрами распределения: доля группы k_1 – 0,759; k_2 – 0,138; k_3 – 0,060; k_4 – 0,044.

Самой прочной является третья группа, но доля ее в пиломатериалах (готовой продукции ЛПК) очень мала ($k_3 = 0,060$).

Примем интеграл распределения предела прочности в третьей группе за распределение в лесосеке (рис. 6, I), интеграл экспериментального распределения – за распределение предела прочности в пиломатериалах (рис. 6, II), а также оценим их по нормативам прочности [1]:

Группа прочности	1	2	3	4	5	6	7
Норматив, МПа	<30	30 ... 38	30 ... 48	48 ... 60	60 ... 75	75 ... 90	>90

Рис. 5. Последовательное выделение (по наибольшей частоте встречаемости) групп образцов, пределы прочности которых описываются нормальными распределениями: 1 – наиболее вероятное распределение k_1 с параметрами $\sigma_1 = 49,60$ МПа; $s_1 = 13,10$ МПа; $Fp_1 = 92,50$; 2 – наиболее вероятное из первого остатка распределение k_2 с параметрами $\sigma_2 = 74,00$ МПа; $s_2 = 5,00$ МПа; $Fp_2 = 16,80$; 3 и 4 – распределения из второго остатка k_3 и k_4 с параметрами $\sigma_3 = 87,50$ МПа; $s_3 = 5,20$ МПа; $Fp_3 = 7,30$ и $\sigma_4 = 25,20$ МПа; $s_4 = 5,50$ МПа; $Fp_4 = 5,30$; 5 – исходное распределение предела прочности



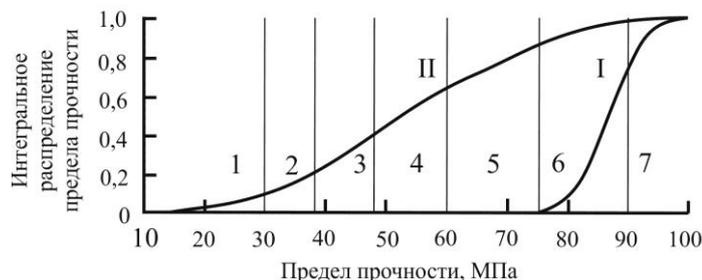


Рис. 6. Интегральное распределение предела прочности древесины в лесосеке (I) и в пиломатериалах (II): 1 – 7 – группы прочности

Для каждой группы рассчитаем коэффициент прочности как произведение предела прочности на долю группы.

Распределение пиломатериалов и древесины в лесосеке по группам прочности оформим в виде таблицы.

Группа прочности	Доля	Предел прочности	Коэффициент прочности
		МПа	
<i>Пиломатериалы</i>			
1	0,10	-	1,0
2	0,10	30	3,0
3	0,20	38	7,6
4	0,25	48	12,0
5	0,25	60	15,0
6	0,10	75	7,7
Итого	1,00		46,3
<i>Древесина в лесосеке</i>			
6	0,75	75	56,25
7	0,25	90	22,50
Итого	1,00	-	78,75

Прочность древесины в лесосеке соответствует 6-й (доля – 0,750 коэффициент прочности $0,75 \cdot 75 \text{ МПа} = 56,25 \text{ МПа}$) и 7-й (доля – 0,25; коэффициент прочности $0,25 \cdot 90 \text{ МПа} = 22,50 \text{ МПа}$) группам прочности. Коэффициент прочности древесины в лесосеке составляет 78,75 МПа.

Отношение коэффициента прочности пиломатериалов к коэффициенту прочности древесины в лесосеке равно $46,30/78,75 = 0,59$, что свидетельствует о значительном ослаблении древесины за технологический цикл. В настоящее время предприятия перешли на незамедлительную доставку заготовленной древесины потребителю автомобильным транспортом. Сократились потери прочности древесины от длительного хранения в штабелях.

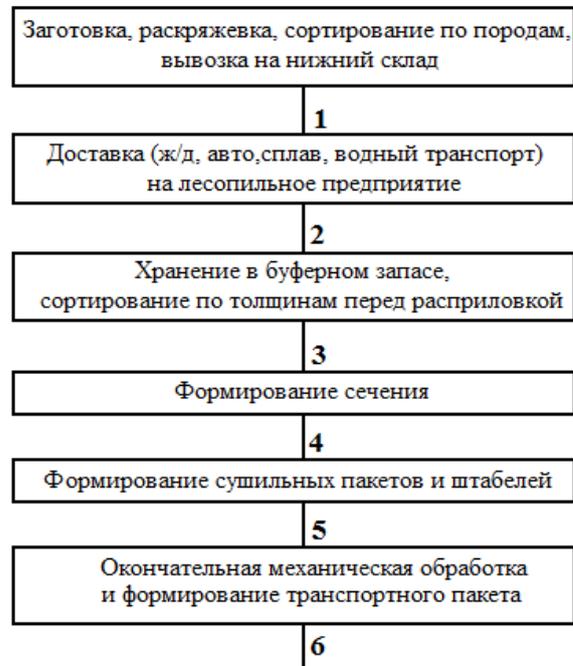


Рис. 7. Технологическая схема движения древесины от лесосеки до терминала: 1 – 6 – места выходного контроля показателей механических свойств пиломатериалов

Для проверки гипотезы об изменении модуля упругости и предела прочности древесины на пути от хлыста в лесосеке до пакета на терминале предлагается проводить выходной контроль показателей механических свойств на основных местах хранения и обработки древесины (рис. 7).

При наличии теоретической базы [3] неразрушающего контроля показателей механических свойств появилась возможность сортирования пиломатериалов по группам прочности и рационального использования древесины в конструкциях с гарантированной долговечностью. Некоторые вопросы рационального использования прочностных свойств пиломатериалов и ценообразования рассмотрены в работе [2].

Выполнение исследовательских работ в местах выходного контроля поможет оптимизировать транспортные и технологические операции по критерию минимальности повреждения древесины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боровиков А.М., Уголев Б.Н. Справочник по древесине / Под ред. Б.Н. Уголева. М.: Лесн. пром-сть, 1989. 296 с.

2. Дунаев В.Ф. Лесопиление: от геометрии к физике, механике и технологии // Лесн. журн. 2008. № 1. С. 90 – 100. (Изв. высш. учеб. заведений).

3. Дунаев В.Ф., Мелехов В.И. Закономерность изменения механических свойств древесины во времени при деформировании // Лесн. журн. 2010. № 3. С. 101 – 109. (Изв. высш. учеб. заведений).

4. Соболев Ю.С. Древесина как конструкционный материал. М.: Лесн. пром-сть, 1979. 248 с.

Поступила 22.05.09

V.F. Dounaev, Candidate of Engineering

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russia
E-mail:javzora@mail.ru

Variability of Young's Modulus and Wood Tensile Strength in the Work Cycle

The article describes the process of allocating each of the distributions of mechanical properties and calculates integral distributions of wood tensile strength in cutting areas and saw timber.

We established a previously unknown pattern of distribution of Young's modulus and tensile strength as a sum of four normal distributions with their arithmetic means and estimation of quadratic means. The original, natural distribution of Young's modulus and tensile strength of wood logs steadily deteriorated as a result of long-term storage of raw materials in piles in industrial depots, on sawmills in winter stocks, in interoperation stocks after log sorting by size and, finally, in stocks for drying and finished product stocks. Sampling was done at the stage of saw timber length formation, so that the samples contained the entire information about their mechanical properties.

Nondestructive testing of mechanical properties allowed us to sort saw timber by strength and rational use of wood in durable structures.

Keywords: Young's modulus, tensile strength, equivalent time of loading, cutting area, saw timber bundle, normal distribution, arithmetic mean, estimation of standard deviation.

REFERENCES

1. Borovikov A.M., Ugolev B.N. Handbook on Wood. Moscow, 1989. 296 p.
 2. Dounaev V.F. Sawmilling: from Geometry to Physics, Mechanics and Technology. *Lesnoy zhurnal*, 2008, no. 1, pp. 90–100.
 3. Dounaev V.F. Melekhov V.I. Pattern Changes of Wood Mechanical Properties in Time Under Deformation. *Lesnoy zhurnal*, 2010, no. 3, pp. 101–109.
 4. Sobolev Y.S. Wood as a Construction Material. Moscow, 1979. 248 p. (in Russian).
-

УДК 539.3+624.011

ИССЛЕДОВАНИЕ СОПОСТАВИТЕЛЬНЫХ РАСЧЕТОВ ВНЕЦЕНТРЕННО СЖАТЫХ И СЖАТО-ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ (ПО НОРМАМ СНИП II-25–80 И ПО ТЕОРИИ СОПРОТИВЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ)

© К.П. Пятикрестовский, д-р техн. наук, гл. науч. сотр.

ЦНИИСК им В.А. Кучеренко ОАО «НИЦ «Строительство», ул. 2-я Институтская, .б,

Москва, Россия, 109428

E-mail: stroymex@list.ru

Различие физических явлений, лежащих в основе статических расчетов внецентренно сжатых и сжато-изгибаемых элементов, вызывает сомнения у специалистов в справедливости норм. Выполнены сравнительные расчеты защемленных стоек на основе приближенных решений дифференциальных уравнений изогнутой оси по формулам сопротивления материалов и по формуле, рекомендуемой СНИП.

Потребность в таких расчетах обусловлена новыми конструкторскими разработками, обеспечивающими жесткое защемление концов деревянных элементов.

Теория расчета сжато-изгибаемых и внецентренно сжатых стержней по уравнениям сопротивления материалов предполагает использование выражений как в упругой стадии работы, так и за ее пределами. При этом задача расчета по крайевым напряжениям усложняется влиянием деформаций и необходимостью использовать переменный модуль упругости. Показана правомерность упрощения расчета по нормам путем введения постоянного модуля упругости для предельных состояний второй группы (10 000 МПа) и для расчета по предельным состояниям первой группы, пониженного до 4 500 МПа. Формула применима во всем диапазоне нагрузок. Установлен предел применимости расчета внецентренно сжатых стоек по формуле, принятой в СНИП для расчета центрально сжатых элементов на устойчивость.

Ключевые слова: внецентренно сжатые и сжато-изгибаемые элементы, древесина, методика расчета, точные, приближенные и практические расчеты.

Работа выполнена в связи с необходимостью уточнения указания СНИП II-25–80 [6] и последующих редакций по п. 4.17, где отмечено, что расчет на прочность внецентренно сжатых и сжато-изгибаемых элементов следует производить по формуле

$$\frac{N}{F_{\text{расч}}} + \frac{M_{\text{д}}}{W_{\text{расч}}} \leq R_{\text{с}}, \quad (1)$$

где N – нормальная сила;

$F_{\text{расч}}$ – площадь расчетного сечения нетто;

$M_{\text{д}}$ – изгибающий момент от действия поперечных сил и продольных нагрузок, определяемый из расчета по деформированной схеме;

$W_{\text{расч}}$ – расчетный момент сопротивления поперечного сечения;

$R_{\text{с}}$ – расчетное сопротивление сжатию вдоль волокон.

Очевидно, это указание основывается на стремлении упростить практические расчеты. Имеется в виду, что при этом будет обеспечен запас прочности внецентренно сжатых элементов. Различие физических явлений, лежащих в основе обоих случаев напряженно-деформированного состояния, вызывает сомнение специалистов в справедливости норм.

В данной работе выполнены сравнительные расчеты сжато-изгибаемых и внецентренно сжатых элементов в виде защемленных стоек на основе приближенных решений дифференциальных уравнений изогнутой оси и формулы (28) СНиП (в нашей статье это формула (1)).

Потребность в таких расчетах обусловлена новыми конструкторскими разработками, обеспечивающими жесткое защемление концов деревянных элементов.

Ставится задача по возможности сохранить структуру формул СНиП для практически важных случаев расчета и оценить погрешность и пределы применимости имеющихся приближенных решений.

Как известно [6, 8], формула (1) представляет собой результат приближенного решения внутренне статически неопределимой задачи о продольно-поперечном изгибе гибких стержней по деформированной схеме, когда вследствие деформаций стержня от поперечной нагрузки возникает дополнительный изгибающий момент от продольной сжимающей силы. Этот изгибающий момент может оказаться значительным и пренебрегать им нельзя.

Для случая, показанного на рис. 1, изгибающий момент можно определить как сумму двух моментов:

$$M = M_0 + Pv, \quad (2)$$

где M_0 – момент от поперечных сил, определяемый обычным способом;

P – продольная сжимающая сила;

v – прогиб стержня от поперечной силы P_1 .

Статическая неопределимость задачи продольно-поперечного изгиба объясняется тем, что суммарный изгибающий момент в сечениях стержня может быть рассчитан только тогда, когда известны перемещения, вместе с тем последние нельзя определить, не зная изгибающих моментов.

Точное решение задачи продольно-поперечного изгиба представляет большие трудности, поэтому используется приближенное дифференциальное уравнение [8]:

$$\frac{d^2v}{dz^2} = -\frac{M_0 + Pv}{EI}, \quad (3)$$

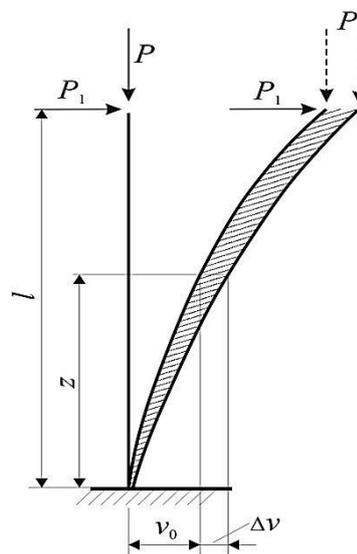


Рис.1. К решению задачи о продольно-поперечном изгибе стойки

где E – модуль упругости материала стержня;
 I – момент инерции поперечного сечения.

Рассмотрим приближенный способ определения прогибов при продольно-поперечном изгибе. На рис. 1 показана стойка, защемленная на опоре с произвольной поперечной нагрузкой P_1 и продольной сжимающей силой P . Прогиб от этих нагрузок можно представить в виде суммы двух прогибов:

$$v = v_0 + \Delta v, \quad (4)$$

где v_0 – прогиб, вызываемый действием только поперечной нагрузки, без учета продольной силы P ;

Δv – дополнительный прогиб (заштрихован на рис. 1), появившийся в результате действия сжимающей силы P .

Подставим выражение (4) в дифференциальное уравнение (3):

$$\frac{d^2 v_0}{dz^2} + \frac{d^2 \Delta v}{dz^2} = -\frac{M_0}{EI} - \frac{Pv}{EI}. \quad (5)$$

Решение уравнения (5) строится на предположении, что дополнительные прогибы изменяются по следующему закону [4]:

$$\Delta v = f \left(1 - \cos \frac{\pi z}{2l} \right). \quad (6)$$

В этом и заключается приближенность решения:

$$v = \frac{v_0}{1 - \frac{Pl^2}{\pi^2 EI}}. \quad (7)$$

Учитывая, что для рассматриваемого случая $\frac{\pi^2 EI}{l^2}$ представляет собой выражение эйлеровой критической силы, окончательно получаем:

$$v = \frac{v_0}{1 - \frac{P}{P_{кр}}}. \quad (8)$$

Для нашего варианта закрепления концов [8] имеем

$$v_0 = \frac{P_1 l^3}{3EI}. \quad (9)$$

Следует иметь в виду, что приближенной формулой (8) нельзя пользоваться в тех случаях, когда сжимающая сила будет близка к критической силе, так как в пределе при $P = P_{кр}$ прогиб стремится к бесконечности. Этой неопределенности можно избежать только путем строгого решения с использованием точного выражения кривизны стержня. Однако [4] точность, которую дает формула (8), вполне достаточна для случаев, когда сжимающая сила лежит в интервале $0 \leq P \leq 0,8P_{кр}$.

Указанные факты положены в основу разработки практического метода расчета путем упрощения дифференциальных уравнений.

В [8] утверждается, что в инженерных задачах, которые встречаются в строительной практике, сжимающая сила обычно не превышает $(0,5 \dots 0,6)P_{кр}$. На этот факт мы обратим внимание далее в статье.

Дальнейший анализ решения приближенного уравнения (5) дает выражения для изгибающего момента и наибольших краевых напряжений:

$$M = M_0 + Pv_0 \frac{1}{1 - \frac{P}{P_{кр}}}; \quad (10)$$

$$\sigma_{\max} = \frac{P}{F} + \frac{M_0}{W} + \frac{Pv_0}{W} \frac{1}{1 - \frac{P}{P_{кр}}}. \quad (11)$$

При продольно-поперечном изгибе стержня напряжения нелинейно связаны с силой P , поэтому по величине напряжений нельзя судить о запасе прочности при заданной нагрузке. Для выяснения этого вопроса строят графики изменения напряжений в зависимости от силы P (рис. 3 в работе [8]).

Рассмотрим теперь расчет внецентренно сжатой гибкой стойки и сравним результаты с предыдущим расчетом на продольно-поперечный изгиб для выяснения вопроса пределов применимости указанных норм [4].

На рис. 2 показана внецентренно сжатая стойка. Если она достаточно гибкая, то при определении изгибающих моментов нельзя пренебречь ее деформациями. Изгибающий момент в произвольном сечении определяется следующим равенством [8]:

$$M = P \delta + e - v, \quad (12)$$

где δ – см. рис. 2;

e – эксцентриситет приложения силы P ;

v – прогиб стержня от горизонтали.

Дифференциальное уравнение изгиба примет следующий вид:

$$\frac{d^2v}{dz^2} = \frac{P \delta + e - v}{EI} \quad (13)$$

или

$$\frac{d^2v}{dz^2} + k^2v = k^2 \delta + e, \quad (14)$$

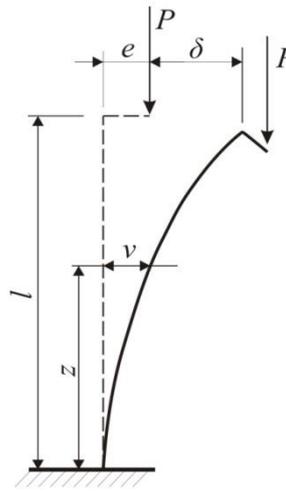


Рис. 2. К решению задачи о внецентренной сжатии стойки

где

$$k^2 = \frac{P}{EI}. \quad (15)$$

Не вдаваясь в подробности решения уравнения, которое известно, приведем выражение для определения основных показателей напряженно-деформированного состояния:

прогиб

$$v = \frac{e}{\cos kl} (1 - \cos kz); \quad (16)$$

изгибающий момент в заделке

$$M_{\max} = P \delta + e = \frac{Pe}{\cos kl}; \quad (17)$$

наибольшее напряжение в заделке при сжатии и изгибе

$$\sigma_{\max} = -\left(\frac{P}{F} + \frac{M_{\max}}{W}\right) = -\frac{P}{F}\left(1 + \frac{Fe}{W \cos kl}\right). \quad (18)$$

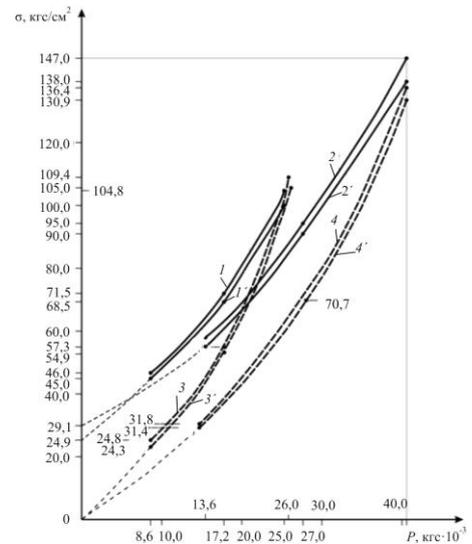
Введем понятие относительного эксцентриситета $m_e = \frac{e}{c}$ (где $c = \frac{W}{F}$), тогда запишем формулу (18) в окончательном компактном виде:

$$\sigma_{\max} = -\sigma_0 \left(1 + \frac{m_e}{\cos kl}\right), \quad (19)$$

где σ_0 – напряжение от чистого сжатия, $\sigma_0 = \frac{P}{F}$.

Из формулы (19) видно, что наибольшие напряжения во внецентренно сжатой гибкой колонне, как и в сжато-изгибаемой, нелинейно зависят от силы P (рис. 3).

Рис. 3. Графики зависимости $P - \sigma$: 1, 1' – сжатие с изгибом для стоек сечением 16×36 см и 16×42 см соответственно; 2, 2' – сжатие с изгибом для стоек сечением 16×36 см и 16×42 см соответственно; 3, 3', 4, 4' – внецентренное сжатие для стоек сечением 16×36 см и 16×42 см соответственно; а – по «точной» теории, б – по формуле (28) из СНиП II-25-80 (линии 1, 1' и 2, 2' при $P = 0$ начинаются не от начала координат, так как значение поперечной силы $P_1 = 0,005P_{кр}$ принято постоянным для всех значений силы P)



Практические методы расчета

Расчет сжатых стержней на прочность производится по элементарной формуле:

$$\sigma = \frac{N}{F_{нт}} \leq R_c, \quad (20)$$

где $F_{нт}$ – площадь поперечного сечения нетто;

R_c – расчетное сопротивление древесины сжатию вдоль волокон.

Для гибких стержней необходима проверка или подбор сечения по расчету на устойчивость [2, 3]. При этом применяется коэффициент продольного изгиба φ , который предусматривает уменьшение расчетного сопротивления при продольном изгибе:

$$\varphi = \frac{\sigma_{кр}}{R_c \gamma} = f \lambda. \quad (21)$$

Здесь γ – коэффициент условий работы (коэффициент запаса);

λ – гибкость стержня, $\lambda = \frac{l_0}{i}$;

$$i = \sqrt{\frac{I}{F}} = 0,2898h.$$

Для деревянных центрально сжатых элементов:

$$\varphi = 1 - 0,8 \left(\frac{\lambda}{100} \right)^2 \text{ при } \lambda \leq 70; \quad (22)$$

$$\varphi = \frac{3000}{\lambda^2} \text{ при } \lambda > 70. \quad (23)$$

Эти формулы используются в СНиП и для определения M_d в формуле (1) при расчете сжато-изгибаемых и внецентренно сжатых элементов по деформированной схеме.

Методика расчета внецентренно сжатых и сжато-изгибаемых элементов, принятая в СНиП II-25–80 [6], предполагает замену последнего члена уравнения (11), учитывающего увеличение максимального краевого напряжения и прогиба в формуле (1) коэффициентом ξ , который вводят во второй член уравнения. Это делает расчетную формулу (1) удобной в применении для СНиП.

Для шарнирно опертых элементов при симметричных эпюрах изгибающих моментов синусоидального, параболического, полигонального и близких к ним очертаний, а также для консольных элементов, M_d следует определять по формуле

$$M_d = \frac{M}{\xi}, \quad (24)$$

где M – изгибающий момент в расчетном сечении без учета дополнительного момента от продольной силы;

ξ – коэффициент, изменяющийся от 1 до 0 и учитывающий дополнительный момент от продольной силы вследствие прогиба элемента,

$$\xi = 1 - \frac{N}{\varphi R_c F_{бр}}; \quad (25)$$

φ – коэффициент продольного изгиба, определяемый по формулам (22) или (23);

$F_{бр}$ – площадь поперечного сечения элемента брутто.

Выполнены сравнительные расчеты сжато-изгибаемых и внецентренно сжатых деревянных элементов по теории сопротивления материалов и по указаниям СНиП II-25-80 [6] для оценки возможного запаса несущей способности, обеспечиваемого формулами норм, и правомерности использования единого подхода к расчету внецентренно сжатых и сжато-изгибаемых элементов, принятого в нормах.

На основании многочисленных предварительных расчетов для анализа были выбраны деревянные стойки (длина 4 м) двух типов поперечных сечений, которые обладают гибкостью в плоскости действия моментов 67 и 76 соответственно, поскольку расчетные усилия для интервалов гибкости от 0 до 70 и от 70 до 200 определяются по различным формулам, т. е. имеются некоторые качественные различия деформирования этих стоек [5].

Правомерность сравнения результатов расчета обеспечивалась критерием нагрузки – критической продольной сжимающей силой. Напряжения и деформации определяли при нагрузках, выражаемых в долях критической силы: продольная сила – 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 и 0,6 $P_{кр}$, поперечную силу, вызывающую изгиб стержня, принимали равной 0,005 $P_{кр}$. При назначении нагрузок на основании предварительных расчетов руководствовались тем, чтобы напряжения и прогибы находились в интервале значений, соответствующих нормам.

Описанная теория сопротивления материалов на основе работ Т. Юнга, Ф.С. Ясинского, С.П. Тимошенко [9], В.М. Коченова [1], Г.С. Писаренко [7], Г.В. Свенцицкого и др. предполагает использование выражения (11) как в упругой стадии работы, так и за ее пределами.

При этом задача расчета по крайевым напряжениям усложняется влиянием деформаций и необходимостью использовать переменный модуль упругости. Упрощение расчета достигалось введением постоянного модуля упругости по формуле $E = 312R_{вр}$. Тогда модуль упругости деформаций получался равным начальному, т. е. $E = 100\,000$ кгс/см². Позже [1] перешли к пониженному модулю упругости $E' = 300R_c$ для расчета по предельным состояниям первой группы, относящемуся к упругопластической стадии работы древесины. Поэтому для вычисления коэффициента ξ в формулах (1), (24) и (25) нашей статьи следует принимать модуль упругости $E = 45\,000$ кгс/см² и расчетное напряжение $R_c = 150$ кгс/см² по СНиП [6]. При этом обеспечивается близкое совпадение результатов расчета по формуле (28) из СНиП [6] с результатами расчета по «точным» формулам сопротивления материалов.

Сравнение результатов расчетов стоек разного сечения

P , в долях от $P_{кр}$	P , кгс	ξ	Сжатие с изгибом			Внецентренное сжатие			$\sigma = \frac{N}{\phi F}$
			σ , кгс/см ²		ν (теория), см	σ , кгс/см ²		ν (теория), см	
			СНиП	теория		СНиП	теория		
Сечение 16×36 см									
0,2 $P_{кр}$	8 616	0,800	46,16	45,00	2,05/0,92	24,35	24,76	0,93/0,42	29,5
0,4 $P_{кр}$	17 233	0,600	71,50	68,50	2,73/1,23	54,86	57,30	2,50/1,125	59,0
0,6 $P_{кр}$	25 848	0,415	104,80	100,50	4,1/1,85	105,00	109,40	5,62/2,50	88,5
Сечение 16×42 см									
0,2 $P_{кр}$	13 683	0,790	57,20	59,00	3,25/1,46	31,44	31,80	0,93/0,42	31,2
0,4 $P_{кр}$	27 366	0,584	90,60	95,00	4,33/1,95	70,70	72,66	2,49/1,13	62,2
0,6 $P_{кр}$	41 049	0,375	138,60	147,00	6,5/2,90	130,90	136,40	5,62/2,50	93,7

Примечание. В числителе – прогибы, вычисленные при $E = 45\,000$ кгс/см², в знаменателе – прогибы, вычисленные при $E = 100\,000$ кгс/см².

Прогибы (см. знаменатели в столбцах 6 и 9 таблицы) лучше согласуются со смыслом расчетов, если принимать модуль упругости при их вычислении равным $100\,000$ кгс/см² в соответствии с указанием п. 3,5 СНиП [6]. При этом максимальные значения напряжений достигают величины расчетных сопротивлений почти одновременно с достижением предельных прогибов.

Сравнение результатов расчетов стоек (длина 4 м) двух типов приведено в таблице и на рис. 3.

В последнем столбце таблицы для сравнения приведены результаты расчета стоек на внецентренное сжатие по формуле $\sigma = \frac{N}{\phi F_{расч}}$, принятой в

СНиП для расчетов центрально сжатых элементов на устойчивость. Как и следовало ожидать, эта формула дает сопоставимые результаты с расчетами по формуле (28) СНиП при малых нагрузках и превышает последние при повышении нагрузок до $0,4P_{кр}$ и более.

Хотя сопоставительные расчеты проведены для продольных нагрузок, равных $0,2$; $0,3$; $0,4$; $0,5$ и $0,6P_{кр}$, в таблице и на рис. 3 представлены только три характерных значения $P = 0,2$; $0,4$ и $0,6P_{кр}$.

Видно небольшое расхождение результатов, полученных по формуле (28) СНиП [6], с результатами расчетов по формулам (11) и (12) данной статьи, соответствующих теории сопротивления материалов. При этом, как правило, последние превышают значения, определяемые по нормам (до 6 %). Это можно объяснить некоторыми условностями назначения расчетных сопротивлений в нормах.

Из проведенных исследований следует, что формула (28) СНиП [6] обеспечивает надежность расчетов деревянных конструкций при сжатии с изгибом и внецентренном сжатии при выполнении указаний пункта 3.5 о назначении модулей упругости при расчете по предельным состояниям второй

группы, равным $E = 100\,000 \text{ кгс/см}^2$ – вдоль волокон, $E_{90} = 400 \text{ МПа}$ – поперек волокон, т. е. начальным значениям.

При расчетах конструкций на устойчивость и по деформированной схеме, т. е. по предельным состояниям первой группы, оправдано снижение модуля упругости $E' = 300R_c$. При этом E' правильнее называть модулем деформаций (R_c – расчетное сопротивление сжатию вдоль волокон, принимаемое по табл. 3 СНиП II-25–80).

Формула (28) СНиП применима во всем диапазоне нагрузок, вплоть до $P = 0,8P_{кр}$.

Выполненная работа восполняет пробел в проектировании стоек, защемленных в опоре, поскольку прежние работы, например [1], не считали этот случай актуальным из-за невозможности осуществить жесткую заделку деревянных элементов.

Таким образом, подобное исследование, может быть, следует провести для расчета составных конструкций с учетом новых конструктивных разработок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коченов В.М. Экспериментально-теоретические исследования деревянных конструкций. М.: ГОНТИ, 1938. 239 с.
2. Лабудин Б.В., Матвеев Р.П., Санжаровский Р.С. Критерии устойчивости сжато-изогнутых стержней, усиленных титановыми элементами // Лесн. журн. 2006. № 5. С. 141–146. (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Лабудин Б.В., Матвеев Р.П., Санжаровский Р.С. Устойчивость сжато-изогнутых стержней, усиленных титановыми элементами // Лесн. журн. 2006. № 3. С. 146–151. (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Пособие к решению задач по сопротивлению материалов: учеб. пособие для техн. вузов / Миролюбов И.Н., Енгальчев С.А., Сергиевский Н.Д., Алмаметов Ф.З., Курицын Н.А., Смирнов-Васильев К.Г., Яшина Л.В. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. шк., 1985. 399 с.
5. Пятикрестовский К.П. К вопросу о выборе модулей упругости при расчете деревянных конструкций на прочность, устойчивость и по деформациям // Строительная механика и расчет сооружений. 2012. № 6. С. 73–79.
6. СНиП II-25–80. Строительные нормы и правила. Ч. II. Нормы проектирования. Деревянные конструкции. М., 1982. 65 с.
7. Сопротивление материалов / Под ред. Писаренко Г.С. 5-е изд. перераб. и доп. К.: Вища шк., 1986. 775 с.
8. Сопротивление материалов: учеб. для вузов / Под ред. Смирнова А.Ф. 3-е изд. М.: Высш. шк., 1975. 480 с.
9. Тимошенко С.П. Сопротивление материалов. М.: Физматгиз, 1960. 379 с.

Поступила 11.07.13

K.P. Pyatikrestovsky, Doctor of Engineering, Principal Researcher

Central Research Institute for Building Structures named after V.A. Kucherenko,
2-ya Institutskaya, 6, Moscow, 109428, Russia
E-mail: stroy mex@list.ru

Comparative Calculations for Eccentrically Compressed and Compressed-Bent Wooden Components (According to Building Regulations SNIP II-25-80 and to the Theory of Strength of Materials)

The differences in the physical phenomena underlying static calculations for compressed-bent and eccentrically compressed components make experts doubt about the validity of the current standards. The author has performed comparative calculations for restrained struts based on approximate solutions of differential equations of deflection curve by the strength of materials formula and the recommended formula in Building Regulations.

Such calculations are needed due to new engineering developments providing rigid fixing for the ends of wooden components.

The calculation theory of compressed-bent and eccentrically compressed bars using strength of materials equations involves the use of the formulae both at the elastic stage and beyond. At the same time, the edge-stress calculation is complicated by the influence of deformations and the need to use variable modulus of elasticity. The author shows that the calculation by standards can be simplified by introducing a constant modulus of elasticity for the limit states of the second group (10,000 MPa) and to calculate the limit states of the first group, reduced to 4500 MPa. The formula can be applied within the entire load range. The author has determined the validity range of the calculation for eccentrically compressed struts by the formula adopted in the Building Regulations for stability analysis of central struts.

Keywords: eccentrically compressed components, compressed-bent components, wood, calculation methods, exact calculations, approximate calculations, practical calculations.

REFERENCES

1. Kochenov V.M. *Eksperimental'no-teoreticheskie issledovaniya derevyannykh konstruksiy* [Experimental and Theoretical Studies of Wooden Structures]. Moscow, 1938. 239 p.
2. Labudin B.V., Matveev R.P., Sanzharovskiy R.S. Kriterii ustoychivosti szhato-izognutykh sterzhney, usilennykh titanovymi elementami [Criteria of Compressed-Bent Bars Sustainability Reinforced by Titanic Elements]. *Lesnoy zhurnal*, 2006, no. 5, pp. 141–146.
3. Labudin B.V., Matveev R.P., Sanzharovskiy R.S. Ustoychivost' szhato-izognutykh sterzhney, usilennykh titanovymi elementami [Stability of Close-Bent Rods Reinforced by Titanic Elements]. *Lesnoy zhurnal*, 2006, no. 3, pp. 146–151.
4. Mirol'yubov I.N., Engalychev S.A., Sergievskiy N.D., Almametov F.Z. Kuritsyn N.A., Smirnov-Vasil'ev K.G., Vashina L.V. *Posobie k resheniyu zadach po so-protivleniyu materialov* [Study Guide to Solving Problems on Strength of Materials]. 5th ed. Moscow, 1985. 399 p.

5. Pyatikrestovskiy K.P. K voprosu o vybore moduley uprugosti pri raschete derevyannykh konstruksiy na prochnost', ustoychivost' i po deformatsiyam [On the Selection of Elastic Moduli at Strength, Buckling and Deformation Analyses of Wooden Structures]. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy*, 2012, no. 6, pp. 73–79.

6. *SNiP II-25-80. Stroitel'nye normy i pravila. Chast' II. Normy proektirovaniya. Derevyannye konstruksii* [Building Regulations II-25-80. Part II. Design Standards. Wooden Structures]. Moscow, 1982. 65 p.

7. *Soprotivlenie materialov* [Strength of Materials]. Ed. by Pisarenko G.S. 5th ed. Kiev, 1986. 775 p.

8. *Soprotivlenie materialov* [Strength of Materials]. Ed. by Smirnov A.F. 3rd ed. Moscow, 1975. 480 p.

9. Timoshenko S.P. *Soprotivlenie materialov* [Strength of Materials]. Moscow, 1960. 379 p.



УДК 676.014

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ШИРИНЫ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ ВОЛОКОН*

© *Д.Г. Чухчин, канд. техн. наук, доц.*

М.С. Брильков, студент

И.А. Хадыко, магистрант

К.Ю. Терентьев, асп.

Е.В. Новожилов, д-р техн. наук, проф.

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,
наб. Северной Двины, 17, г. Архангельск, Россия, 163002

E-mail: dimatsch@mail.ru

В статье представлена автоматизированная методика определения ширины целлюлозных волокон, основанная на микроскопировании отдельных волокон и последующей обработке полученных фото- и видеофайлов с помощью специально разработанного программного обеспечения. Большое теоретическое и практическое значение имеет исследование процессов набухания целлюлозных волокон. Методика позволяет проводить видеосъемку процесса набухания целлюлозных волокон в различных реагентах, включая концентрированные растворы кислот и щелочей.

Проведено сравнение результатов измерения ширины волокон по предложенной методике с данными, полученными на широко применяемом анализаторе L&W Fiber Tester. Показано, что распределения волокон по ширине имеют схожую конфигурацию. Преимуществом предложенной методики является то, что она позволяет изучать набухание волокон в различных растворителях, в то время как прибор L&W Fiber Tester не предназначен для работы с агрессивными химическими реагентами. Методика позволяет отслеживать в динамическом режиме изменение структуры волокна, с ее помощью могут быть определены такие характеристики, как ширина целлюлозных волокон, степень, скорость и формы их набухания в процессе обработки кислотами, щелочами и ферментами.

Ключевые слова: целлюлозное волокно, микроскопия, ширина, набухание, видеозапись, автоматическое измерение.

Изучению структуры и свойств целлюлозных волокон уделяется большое внимание, так как от них зависят показатели готовой продукции. Дж. Кларк [4] выделил 6 основных характеристик, которые он назвал фундаментальными: среднюю длину, собственную прочность, грубость волокон, спо-

* Работа выполнена на оборудовании ЦКП НО «Арктика» Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова при финансовой поддержке Минобрнауки России и гранта для молодых ученых компании ОПТЭК.

способность к размолу и уплотнению во влажном состоянии, когезионную способность. В настоящее время для анализа волокон широко используется прибор L&W Fiber Tester, который позволяет проводить исследования водных суспензий целлюлозных волокон в автоматическом режиме [4].

Среди других характеристик волокон выделяется их средняя ширина, которая используется при определении критической длины волокна [6], представляющей собой интегральную характеристику фундаментальных свойств (по Кларку) [5]. При ее расчете в скрытой форме учитывается прочность отдельного волокна, его адгезионная способность, грубость и способность к уплотнению во влажном состоянии [2]. Параметры волокон могут значительно меняться в технологических процессах производства целлюлозных полуфабрикатов. Ширина волокон может как уменьшаться за счет удаления наружных слоев клеточных стенок в результате химических, механических или ферментативных воздействий, так и увеличиваться из-за набухания волокон.

Под набуханием понимают процесс сорбции низкомолекулярного вещества полимером, сопровождающийся увеличением массы, объема и изменением структуры последнего. При набухании волокон происходит увеличение их ширины, которое можно определить микроскопическим методом. Изменение ширины волокон достаточно широко используется для оценки степени набухания при действии различных реагентов [1, 8, 9]. Однако, чтобы количественно охарактеризовать процесс набухания, необходимо провести измерение ширины большого числа волокон, что является очень трудоемким процессом.

Цель наших исследований – разработка автоматизированной методики определения ширины целлюлозных волокон, в том числе в процессе их обработки различными реагентами, вызывающими набухание волокна.

Для проведения измерений использовали следующее оборудование: оптический микроскоп с видеокамерой (микроскоп Carl Zeiss AXIO Imager M2), персональный компьютер. Ускорение определения ширины волокон и повышение точности метода возможно при компьютерной обработке данных, полученных с помощью микроскопа. Для этого необходимо накопление массива фото- или видеоизображений волокон испытуемого образца и его обработка при помощи соответствующего программного обеспечения.

Для получения фотоизображений волокон используют сухие предметные стекла. Волокна располагают по всей площади одного стекла, накрывают вторым стеклом. Оба стекла закрепляют в зажим и переносят непосредственно на предметный столик микроскопа. Настройкой микроскопа обеспечивают четкость изображения волокон. Перемещая образец в горизонтальной плоскости, с помощью программы проводят фотофиксацию изображения волокон. Расположение и количество волокон не существенно, важны лишь четкие границы отдельных волокон. Для каждой пробы количество измерений шири-

ны волокон составляет 150...250, коэффициент вариации – 2...3 %.

При работе программы сканирование осуществляется по прямой, поперек волокна (рис. 1), начало и направление которого задают курсором.

При обработке отснятых фото- или видеофайлов программа самостоятельно определяет границы волокна и рассчитывает расстояние между ними. Во время сканирования происходит считывание значений яркости цветовой составляющей каждого пикселя изображения и сохранение их в массиве данных.

На рис. 2 представлено распределение яркости пикселей на линии сканирования волокна. Области 1 и 5 отражают фон, границам волокна соответствуют области 2 и 4 с минимальной яркостью пикселей, область 3 характеризует внутреннюю полость волокна. Пиксель в массиве, имеющий самое наименьшее значение яркости, указывает границы волокна, которые намного темнее основного фона изображения. Программа записывает координаты каждого пикселя, чтобы потом найти координаты точек на границах волокна и рассчитать расстояние между ними, которое будет соответствовать его ширине.

Процесс обработки видеофайлов осуществляется автоматически по кадру. Для случаев, в которых границы волокон на видеоизображении видны нечетко или волокно подвижно, предусмотрен ручной режим работы. При этом курсором ставятся точки непосредственно на границах интересующего волокна, и программа рассчитывает расстояние между ними.

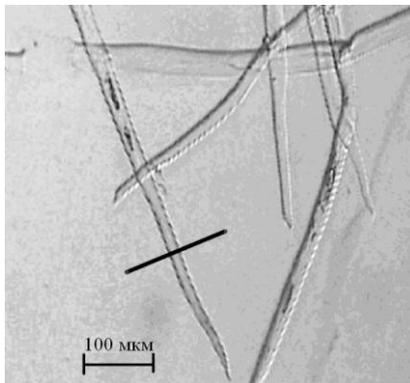


Рис. 1 Линия сканирования ширины волокна

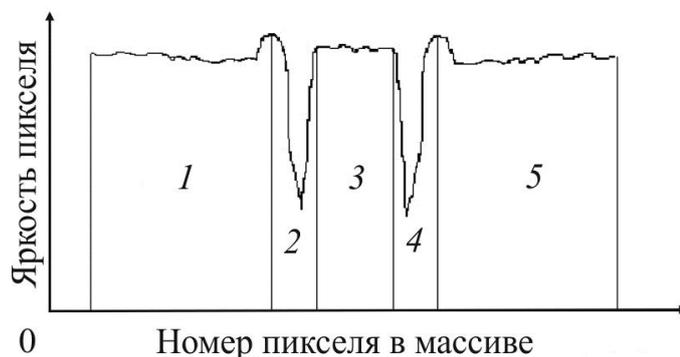


Рис. 2. Определение границы волокна по яркости пикселей на линии сканирования

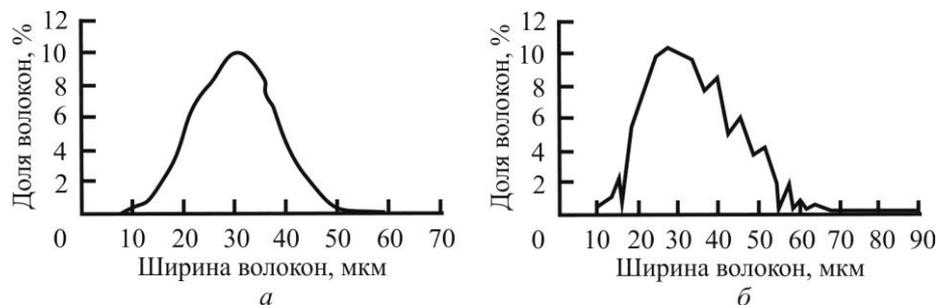


Рис. 3. Распределение ширины волокон, определенное на приборе L&W Fiber Tester (*а*) и по разработанной методике (*б*)

Представляло интерес сравнить результаты измерения ширины волокон по предложенной методике и с анализатора L&W Fiber Tester. На рис. 3, *а* приведен график с данными, полученными на приборе L&W Fiber Tester для технической целлюлозы из сосны [7], для сравнения на рис. 3, *б* представлено распределение значений ширины волокон хвойной целлюлозы, полученное по разработанной методике (более 200 волокон).

Очевидно, что распределения волокон по ширине имеют схожую конфигурацию. Однако количество волокон, измеренное с помощью прибора L&W Fiber Tester, достигает нескольких десятков тысяч, благодаря чему распределение получается более равномерным.

Исследования набухания волокон целлюлозы в воде, органических растворителях, растворах щелочей и концентрированных кислотах имеют большую теоретическую и практическую значимость. Существует тесная взаимосвязь между способностью целлюлозы к набуханию и ее способностью к размолу, а следовательно, и со свойствами получаемой бумаги [7]. При производстве искусственного целлюлозного волокна способность целлюлозных волокон к набуханию определяет их поведение при мерсеризации, ксантогенировании щелочной целлюлозы, а также в ходе химических реакций [7].

Разработанная методика позволяет получить видеоизображения динамики набухания волокон. После помещения образца на предметный столик рекомендуется найти такое положение, при котором в центр попадало бы несколько (1 – 3) отдельно лежащих волокон, без их скоплений и посторонних включений. После настройки микроскопа, обеспечивающей четкое изображение волокон, запускают функцию видеозаписи. После этого в пространство между стеклами вносят каплю реагента, которая под действием капиллярной силы проникает между ними и вызывает набухание целлюлозных волокон. Видеосъемку проводят до прекращения набухания волокон или их растворения.

В качестве примера на рис. 4 приведены фотографии волокон сульфатной лиственной облагороженной целлюлозы для химической переработки с содержанием α -целлюлозы 94,2 % до набухания (рис. 4, *а*) и набухших в 10 %-м растворе щелочи (рис. 4, *б*).

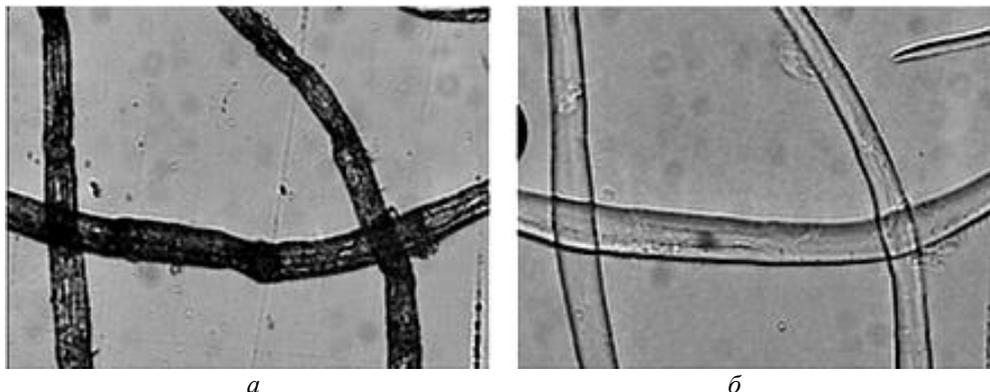


Рис. 4. Фотография целлюлозных волокон до (а) и после (б) набухания в растворе щелочи

Таким образом, предложенная методика позволяет изучать набухание волокон в различных растворителях, включая концентрированные растворы щелочей и кислот. Методика позволяет выполнять видеозапись процесса набухания и отслеживать изменение структуры волокна в динамическом режиме. С ее помощью могут быть определены такие характеристики, как ширина целлюлозных волокон, степень, скорость и морфологические особенности их набухания в процессе обработки кислотами, щелочами и ферментами [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аввакумова А.В. Отбелка и облагораживание предгидролизной натронной целлюлозы из лиственных пород древесины: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Л., 1984. 18 с.
2. Дулькин Д.А., Спиридонов В.А., Комаров В.И. Современное состояние и перспективы использования вторичного волокна из макулатуры в мировой и отечественной индустрии бумаги. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2007. 1118 с.
3. Изменение структуры клеточной стенки и свойств волокон беленой сульфатной лиственной целлюлозы при ферментативном воздействии / Новожилов Е.В., Чухчин Д.Г., Терентьев К.Ю., Хадько И.А. // Химия растительного сырья. 2012. №2. С. 15–20.
4. Карлссон Х. Гид по волокну. Анализ волокна и его применение в ЦБП. Справочное руководство. Kista snabbtryck, Sweden, 2008. 118 с.
5. Кларк Дж. Технология целлюлозы. М.: Лесн. пром-сть, 1983. 456 с.
6. Комаров В.И. «Критическая» длина волокна – фактор, определяющий деформативность и прочность целлюлозно-бумажных материалов // Лесн. журн. 1993. № 4. С. 79–83. (Изв. высш. учеб. заведений).
7. Оболенская А.В. Практические работы по химии древесины и целлюлозы / Оболенская А.В., Щеголев В.П., Аким Г.Л., Коссович Н.Л., Емельянова И.З. М.: Изд-во, 1965. 412 с.
8. Целлюлоза и ее производные / Под ред. Н. Байклза, Л. Сегала. М.: Химия, 1974. 500 с.

9. Шлык Е.Г., Горский Г.М. Химический метод оценки качества волокнистого полуфабриката. // Создание конкурентоспособного оборудования и технологий для изготовления бумажно-картонной продукции из вторичного волокнистого сырья: материалы 3-й Междунар. науч.-техн. конф. Караваево, 2002. С. 103–107.

Поступила 06.02.13

Development of the Method for Determining the Width of Cellulose Fibers

D.G. Chukhchin, Candidate of Engineering, Associate Professor

M.S. Bril'kov, Student

I.A. Khadyko, Master's Candidate

K.Yu. Terentyev, Postgraduate Student

E.V. Novozhilov, Doctor of Engineering, Professor

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russia

E-mail: dimatsch@mail.ru

The paper describes an automated method of determining the width of cellulosic fibers, including in the course of their treatment by various reagents. This method is based on microscopy of individual fibers and subsequent treatment of obtained photos and video files with the help of specially designed software. The study of cellulose fibers swelling is of great theoretical and practical importance. The method allows us to film cellulose fibers swelling in various reagents, including strong solutions of mineral acids and alkalis.

We compared the fiber width measurements taken by the proposed method with those obtained by the widely used L&W Fiber Tester. Fiber distributions by the width turned out to have similar configuration. The advantage of the proposed method is that it allows us to study fiber swelling in various solvents, both organic and inorganic, while L&W Fiber Tester cannot be used with aggressive chemicals. The method allows us to monitor dynamic changes in the fiber structure and can help determine such parameters as the width of cellulose fibers and the degree, rate and shape of their swelling when treated with acids, alkalis and enzymes.

Keywords: cellulose fiber, microscopy, width, swelling, video recording, automatic measurement.

REFERENCES

1. Avvakumova A.V. *Otbelka i oblagorazhivanie predgidroliznoy natronnoy tsellyulozy iz listvennykh porod drevesiny*: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [Bleaching and Refinement of Prehydrolysis Soda Pulp from Hardwood: Cand. Tech. Sci. Diss. Abs.]. Leningrad, 1984. 18 p.

2. Dul'kin D.A., Spiridonov V.A., Komarov V.I. *Sovremennoe sostoyanie i perspektivy ispol'zovaniya vtorichnogo volokna iz makulatury v mirovoy i otechestvennoy industrii bumagi* [Current State and Prospects of the Use of Recycled Fiber from Waste Paper in the Global and Domestic Paper Industry]. Arkhangelsk, 2007. 1118 p.

3. Novozhilov E.V., Chukhchin D.G., Terent'ev K.Yu., Khadyko I.A. Izmenenie struktury kletchnoy stenki i svoystv volokon belenoy sul'fatnoy listvennoy tsellyulozy pri fermentativnom vozdeystvii [Changes of Cell Wall Structure and Fiber Properties of Bleached Kraft Hardwood Pulp by Enzymatic Action]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2012, no. 2, pp. 15–20.

4. Karlsson H. *Fibre Guide. Fibre Analysis and Process Applications in the Pulp and Paper Industry* (Russ. ed.: Karlsson Kh. *Gid po voloknu. Analiz volokna i ego primenenie v TsBP. Spravochnoe rukovodstvo*. Kista Snabbtryck, Sweden. 2008. 118 p.).

5. Clark D. *Pulp Technology and Treatment for Paper*. 1978 (Russ. ed.: Klark Dzh. *Tekhnologiya tsellyulozy*. Moscow, 1983. 456 p.).

6. Komarov V.I. "Kriticheskaya" dlina volokna – faktor, opredelyayushchiy deformativnost' i prochnost' tsellyulozno-bumazhnykh materialov ["Critical" Fiber Length – the Factor Determining the Strength and Deformability of Pulp and Paper Materials]. *Lesnoy zhurnal*, 1993, no. 4, pp. 79–83.

7. Obolenskaya A.V., Shehegolev V.P., Akim G.L., Kossovich N.L., Emelyanova I.Z. *Prakticheskie raboty po khimii drevesiny i tsellyulozy* [Practical Work on the Chemistry of Wood and Pulp]. Moscow, 1965. 412 p.

8. *Cellulose and Cellulose Derivatives*. Ed. by Bikales N.M., Segal L. Wiley-Interscience, 1971. (Russ. ed.: *Tsellyuloza i ee proizvodnye*. Ed. by Bayklz N., Segal L. Moscow, 1974. 500 p.).

9. Shlyk E.G., Gorskii G.M. Khimicheskiy metod otsenki kachestva voloknistogo polufabrikata [Chemical Method of Assessing the Quality of Pulp]. *Sozdanie konkurentosposobnogo oborudovaniya i tekhnologiy dlya izgotovleniya bumazhno-kartonnoy produktsii iz vtorichnogo voloknistogo syr'ya: materialy 3 Mezhdunar. nauchn.-tekhn. konf.* [Creating Competitive Equipment and Technologies for Paper and Cardboard Production from Recycled Fiber: Proc. 3rd Int. Sci.-Tech. Conf.]. Karavaevo, 2002, pp. 103–107.

УДК 676.012.1-50

ФИЗИЧЕСКАЯ СУЩНОСТЬ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ И ОБРУШЕНИЯ СВОДОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЩЕПЫ

© *В.П. Сиваков, проф., д-р. техн. наук*
М.Ю. Голынский, канд. техн. наук

Уральский государственный лесотехнический университет, Сибирский тракт, 37,
г. Екатеринбург, Россия, 620100
E-mail: golynsk@rambler.ru

Технологическая щепка рассматривается как подвижный связный агрегат макрочастиц. Для анализа свойств технологической щепки применена модель эффективной сплошной среды. Основным уравнением, определяющим поведение щепки является реологическое. На основе этого уравнения показано, что по периметру корпуса бункера, в направлении к его вертикальной оси, концентрично формируются области упругости, предельного состояния, ползучести, аномального трения и кулонова трения. Длительное хранения щепки в бункере способствует увеличению пристенных областей (упругости и ползучести) и сокращению центральных областей (аномального трения и кулонова трения). В конической части бункера при выгрузке поток щепки сужается, значительно возрастает радиальное давление, что приводит к образованию динамически неустойчивых сводов.

Изменение плотности технологической щепки исследовано в экспериментальном бункере в зависимости от времени хранения, высоты столба щепки и влажности. На основе полученных данных скорректирована формула Янсена для расчета давления на днище и стенки бункера. Формула Янсена дает заниженные значения давления из-за неучета влияния фактора времени на изменение плотности щепки. Расчет осевых и радиальных давлений на стенки и днище бункера по уточненной формуле подтверждается экспериментальными измерениями. Установлено, что бункеры необходимо проектировать с меньшим углом наклона конического днища бункера к вертикали или с устройствами, препятствующими образованию сводов. Прогнозирование образования и развития областей различных динамических состояний щепки в бункере позволяет конструировать устройства для предотвращения образования сводов щепки. Использование бункеров высотой от 15 м не приведет к увеличению частоты образованию сводов, но позволит увеличить аккумулирующие мощности предприятия.

Ключевые слова: бункер, щепка, сводообразование.

Технологическая щепка представляет собой подвижный связный агрегат макрочастиц сплошного материала, находящихся между собой в механическом контакте в газовой среде. Существующие механические модели не дают адекватного описания механического поведения щепки. Модельные представления щепки являются феноменологическими или искусственными, что обуславливает их ограниченную применимость.

К специфическим особенностям механики щепки при движении в бункере можно отнести зависимость динамического состояния щепки от параметров внешних механических воздействий в рамках одной задачи; замкнутость

объемов, заполненных щепой; неприменимость равенства нулю объемных деформаций.

Существующие модели сыпучих тел могут быть разделены на несколько классов: точечные, статистические, эффективные сплошные и специальные [1, 6, 8]. Рассматриваемая ниже модель щепы строится как модель эффективной сплошной среды с соответствующим образом определенными динамическими величинами и константами, входящими в систему уравнений. Представление щепы как эффективной сплошной среды дает описание ее механического поведения во всем диапазоне внешних нагрузок и граничных условий. Система уравнений сплошной среды включает уравнения импульса, непрерывности, энергетического баланса, реологическое [1]. При этом формально вид первых трех уравнений одинаков для любой сплошной среды. Основным уравнением, определяющим особенности щепы, является реологическое уравнение.

Реологическое уравнение сыпучего материала, а следовательно, и технологической щепы построено как соотношение между напряжением в щепе и скоростью ее перемещения. В общем виде график зависимости напряжения в щепе σ_{zx} от скорости ее перемещения v_x представлен на рис. 1 [1, 8]. Зависимость $\sigma_{zx}(v_x)$ является нелинейной, имеет один максимум, два участка возрастания, по одному убывания и неизменности $\sigma_{zx}(v_x)$ с ростом v_x . В соответствии с этим, шкала скоростей v_x подразделяется на 4 участка: OA, AB, BC, CD.

Участок OA – область резкого возрастания напряжения σ_{zx} – на этом участке сверхмалым скоростям соответствуют очень высокие значения вязкости сплошного массива щепы. Существованием этого участка объясняется эффект ползучести – сверхвязкое течение сплошного массива щепы со сверхмалыми скоростями под действием постоянной нагрузки.

Участок AB – область аномальной вязкости сплошного массива щепы – на этом участке с увеличением скорости напряжение сопротивления падает. Это область, где происходят интенсивные структурные изменения в объеме щепы, – лавинообразный процесс ослабления межчастичных контактов, среда становится текучей. В т. В, когда напряжение сопротивления достигает минимума, «включается» механизм преобразованного сухого трения, поэтому в

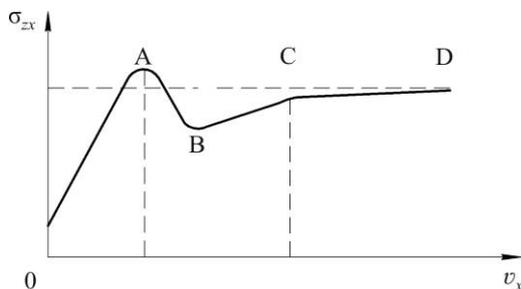


Рис. 1. Зависимость напряжения в щепе σ_{zx} от скорости ее перемещения v_x

окрестностях этой точки имеют место два конкурирующих эффекта: резко снижающееся напряжение покоя и возрастающее напряжение кулонова скольжения. Этим объясняется наличие минимума.

Участок BC – при дальнейшем росте скорости в этой области имеется возрастающая практически линейная зависимость $\sigma_{zx}(v_x)$. Здесь щепка ведет себя как эффективная линейная вязкая квазизжидкая среда.

Участок CD – область чисто кулонова трения – на этом участке напряжение не зависит от скорости.

При движении в объеме сплошного массива щепки будут одновременно существовать области кулонова трения, вязкого и аномального трения, ползучести и тонкий слой предельного состояния. При этом последний является границей двух фаз массива щепки: текучей и упругой.

В силу непрерывности зависимости $\sigma_{zx}(v_x)$ пространственные области различных динамических состояний массива щепки (рис. 2) расположены так, что область кулоновой среды 1 окружена областью вязкой среды 2, которая, в свою очередь, отделена от области ползучести 4 областью аномальной вязкости 3. Область 4 отделена от области упругости 6 областью предельного состояния 5.

При истечении технологической щепки из бункера (рис. 3) возникает такое напряженное состояние в выгрузочном днище или в переходной зоне от верхней части бункера к выгрузочному днищу, при котором вертикальное давление начинает уменьшаться. Затем главные нормальные напряжения сравниваются по величине и вертикальное давление становится меньше горизонтального. Горизонтальные усилия уплотняют частицы материала, растут силы сцепления, которые уменьшают скорость движения щепки. При дальнейшем росте горизонтального давления силы сопротивления превышают силы от вертикального давления, истечение сыпучего материала прекращается, образуется свод. К основным факторам сводообразования относятся объемный вес сыпучего материала, время хранения, высота столба насыпного материала в бункере, влажность и др.

Хранение массива технологической щепки сопровождается изменением его плотности. После длительного хранения существенно изменяется соотношение между областями различных динамических состояний массива щепки. Поперечное сечение пристенных областей 4 – 6 увеличивается, соответственно, области 1 – 3 отсутствуют или существенно уменьшаются в поперечном сечении.

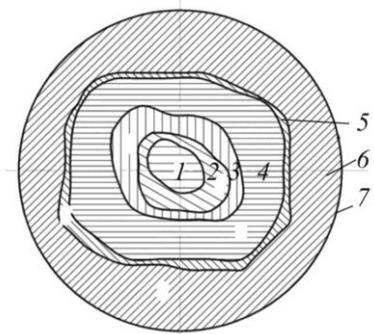
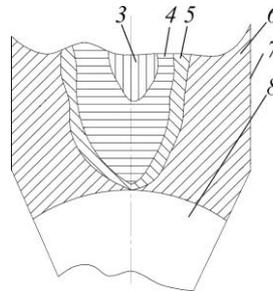


Рис. 2. Пространственные области различных динамических состояний массива щепки в бункере (7): 1 – область кулоновой среды; 2 – вязкой среды; 3 – аномальной вязкости; 4 – ползучести; 5 – предельного состояния; 6 – упругости

Рис. 3. Расположение областей динамических состояний массива щепы при образовании динамически неустойчивого свода щепы (8) (см. обозначения на рис. 2)



В выгрузочном днище бункера образуется динамически неустойчивый свод из-за стремления зон 1 – 3 к нулю (рис. 3).

Процесс увеличения поперечного сечения областей 4 – 6 тем интенсивней, чем выше столб насыпного материала над рассматриваемым поперечным сечением. Скорость нормального истечения щепы замедляется, расход выгружаемой щепы снижается. Динамически неустойчивый свод кратковременен, так как инерция движущихся расположенных выше слоев сырья разрушает его. Образование и разрушение динамически неустойчивого свода создает пульсирующий поток выгрузки сырья. При перекрытии областями 5, 6 всего поперечного сечения бункера образуется статический свод, при котором выгрузка щепы прекращается. Разрушение статического свода трудоемкая процедура.

Даже в нормальном режиме истечения, когда частота образования динамически неустойчивого свода мала, происходит монотонное уменьшение областей 1 – 3. При снижении наружного радиуса области 3 меньше критического радиуса в конической части бункера происходит резкое зарастание поперечного его сечения областями 5, 6 с образованием статического свода. Движущийся поток заужается пропорционально увеличению горизонтального (радиального) давления p_R . В конической части происходит значительное приращение радиального давления (рис.

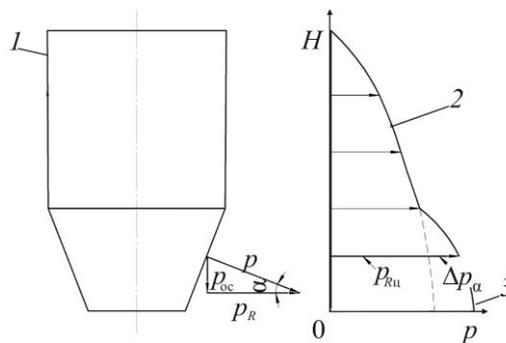


Рис. 4. Приращение радиального давления в конической части бункера: 1 – бункер; 2 – эпюра давления в цилиндрической части бункера; 3 – эпюра давления в коническом днище

4), что сопровождается ускоренным сужением областей 1 – 3 и приводит к образованию динамически неустойчивых сводов.

Эпюра давления в бункере получена по результатам многофакторного эксперимента [2]. В экспериментальном бункере исследовалось изменение плотности технологической щепы от времени хранения, высоты столба

насыпного материала и влажности. Получены уравнения линейной регрессии. Эти данные помогли скорректировать формулу Янсена для определения давления на стенки и днище бункера, которая не учитывала изменение плотности щепы во время хранения и поэтому давала заниженные значения [3, 7]. Давление в бункере в зависимости от высоты столба насыпного материала H_0 и времени хранения t_0 изменяется согласно следующим зависимостям:

$$p_{oc} = \frac{(\rho_0 + (29,35 + 1,14 \ln t_0) \ln H_0 F g)}{fKL} \left(1 - e^{-\frac{fKL}{F} H} \right), \quad (1)$$

где ρ_0 – начальная плотность сыпучего материала;

H_0 – высота сыпучего материала в бункере;

F – площадь горизонтального сечения бункера;

g – ускорение свободного падения;

f – коэффициент трения сыпучего материала о стенки сосуда;

K – коэффициент бокового давления, определяющий отношение горизонтального давления $p_{рад}$ на вертикальную стенку к вертикальному давлению p_{oc} на горизонтальную площадку;

L – периметр сечения бункера.

Определим радиальное давление на коническое днище:

$$p_{Rк} = K p_{oc}; \quad (2)$$

$$p_{Rк} = p_{oc} \cos \alpha, \quad (3)$$

где α – угол наклона конической части бункера к вертикали.

Радиальное давление на коническое днище (рис. 4) можно представить в следующем виде:

$$p_{Rк} = p_{Rц} + \Delta p_{\alpha}, \quad (4)$$

где $p_{Rц}$ – радиальное давление для цилиндрической части корпуса;

Δp_{α} – приращение давления в коническом днище.

Подставив (3) в формулу (4), получим приращение давления в коническом днище бункера:

$$\Delta p_{\alpha} = p_{oc} \cos \alpha - p_{Rц}. \quad (5)$$

В связи со значительным приращением давления, согласно зависимости (5), бункеры необходимо проектировать с меньшим углом наклона конического днища к вертикали или использовать устройства, препятствующие образованию сводов [4, 5]. Как показано на рис. 4, давление в цилиндрической части асимптотически стремится к какому-то постоянному значению. Следовательно, увеличение высоты бункера не сопровождается значительным ростом радиального давления на стенки бункера. Использование бункеров высотой от 15 м не приведет к увеличению частоты образованию сводов, но позволит увеличить аккумулирующие мощности предприятия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вялов С.С. Реологические основы механики грунтов. М.: Высш. шк., 1978. 447 с.
2. Голынский М.Ю., Сиваков В.П. Некоторые вопросы уплотнения технологической щепы при ее хранении в бункерах // Вибродиагностика, триботехника, вибрация и шум: моногр. / Под ред. А.А. Санникова, Н.В. Куцубиной. Екатеринбург: УГЛТУ, 2009. С. 180.
3. Мазарский С.М. Силосные склады древесной щепы. М.: ВНИПИЭИлеспром, 1971. 41 с.
4. Пат. 57288 РФ, В 65 D 88/64. Тарельчатый питатель / Сиваков В.П., Голынский М.Ю. № 2006107201/22; заявл. 07.03.2006; опубл. 10.10.2006, Бюл. № 28. 3 с.
5. Пат. 58518 РФ, В 65 D 88/64. Бункер / Сиваков В.П., Голынский М.Ю. № 2006118842/22; заявл. 30.05.2006; опубл. 27.11.2006, Бюл. № 33. 3 с.
6. Ротенберг А.В. Применение аппарата классической статистики в равновесной механике дискретных сред // Технологии и системы обработки информации и управления. Пенза: ПГУ, 1999. Вып. 2. С. 72.
7. Сиваков В.П., Голынский М.Ю. Определение давления щепы на днище и стенки бункера // Вестн. КГТУ. 2013. № 15. С. 42.
8. Соколовский В.В. Теория пластичности. М.: Высш. шк., 1969. 608 с.

Поступила 17.01.12

The Physics of Chip Arch Formation and Breaking-Down

V.P. Sivakov – Professor, Doctor of Engineering

M.Yu. Golynsky – Candidate of Engineering

The Ural State Forest Engineering University, Sibirskiy trakt, 37,

Yekaterinburg, 620100, Russia

E-mail: golynsk@rambler.ru

Pulp chip is considered in the article as a coherent mobile unit of macroparticles. To analyze the properties of pulp chips we used a model of effective continuum. We show that the main equation defining the behaviour of chips is the rheological one. Using this equation, we demonstrate that along the perimeter of the bunker case towards its vertical axis, there concentrically are formed elastic, limit state, creep, abnormal friction and Coulomb friction areas. Long term storage of chips in the bunker makes the wall areas (elasticity and creep) increase and the central areas (abnormal friction and Coulomb friction) reduce. In the bunker's conic part at discharge, the chip flow becomes narrower and the radial pressure increases significantly, leading to formation of dynamically unstable arches. We studied the changing density of chips in a prototypical bunker depending on the storage time, height of the chip column and moisture content. Based on the data obtained, we modified Janssen's equation to calculate the pressure on the bottom and walls of the bunker. Jansen's equation gives too low pressures as it does not take into account the influence of time on chip density. The axial and radial pressures on the walls and bottom of the bunker calculated by the modified equation are confirmed by experimental measurements.

Bunkers must be designed with a smaller tilt angle between the bunker's conic bottom and the vertical or the devices preventing the formation of arches. Prediction of for-

mation and development of the various regions of chip dynamical states in the bunker makes it possible to design a device preventing the chip arches from forming. Using 15 m high bunkers will not result in more frequent formation of arches, but will increase the accumulating capacity of the enterprise.

Keywords: bunker, chips, arching.

REFERENCES

1. Vyalov S.S. *Reologicheskie osnovy mekhaniki gruntov* [Rheological Fundamentals of Soil Mechanics]. Moscow, 1978. 447 p.
 2. Golynskiy M.Yu., Sivakov V.P. Nekotorye voprosy uplotneniya tekhnologicheskoy shchepy pri ee khraneni v bunkerakh [Some Issues of Pulpchip Compaction for Storing in Bunkers]. *Vibrodiagnostika, tribotekhnika, vibratsiya i shum* [Vibrodiagnostics, Tribo-Engineering, Vibration and Noise]. Yekaterinburg, 2009, p. 180.
 3. Mazarskiy S.M. *Silosnye sklady drevesnoy shchepy* [Silo Bins for Wood Chips]. Moscow, 1971. 41 p.
 4. Sivakov V.P., Golynskiy M.Yu. *Tarel'chatyy pitatel'* [Plate Feeder]. Patent RF, no. 57288, V 65 D 88/64. 2006.
 5. Sivakov V.P., Golynskiy M.Yu. *Bunker*. Patent RF no. 58518, V 65 D 88/64. 2006 (in Russian).
 6. Rotenberg A.V. Primenenie apparata klassicheskoy statistiki v ravnovesnoy mekhanike diskretnykh sred [The Use of Classical Statistics in Equilibrium Mechanics of Discrete Media]. *Tekhnologii i sistemy obrabotki informatsii i upravleniya* [Technologies and Systems of Information Processing and Management]. Penza, 1999. Iss. 2, p. 72.
 7. Sivakov V.P., Golynskiy M.Yu. Opredelenie davleniya shchepy na dnishche i stenki bunkera [Calculation of the Wood Chips Pressure on the Bottom and Walls of the Bunker]. *Vestnik KGTU*, 2013, no. 15, p. 42.
 8. Sokolovskiy V.V. *Teoriya plastichnosti* [Plasticity Theory]. Moscow, 1969. 608 p.
-



УДК 62-662.5

**ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОПЛИВНЫХ БРИКЕТОВ
В КОММУНАЛЬНОЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ
МАЛЫХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ**

© *В.А. Петринчик, канд. техн. наук, доц.*
А.С. Царев, асп.

Вологодский государственный технический университет, ул. Ленина, 15, г. Вологда,
Вологодская область, Россия, 160000
E-mail: diplom2005@bk.ru

В России существует проблема теплоснабжения малых населенных пунктов. Постоянный рост цен на топливо и транспортировку приводит к росту тарифов на отпускаемую тепловую энергию, что, в свою очередь, влияет на конкурентоспособность товаров и услуг, производимых на данной территории, приводит к обострению социальных вопросов.

В статье освещается один из путей решения этой проблемы – переход на использование топлива (пеллеты и топливные брикеты) из местных древесных отходов. Показано, что для малых населенных пунктов наиболее предпочтительными являются топливные брикеты. Предложено оптимизировать топливные брикеты с учетом особенностей населенного пункта, вида древесных отходов, тепловых нагрузок потребителей.

Выполнен анализ изменения основных теплофизических параметров топливных брикетов (теплотворная способность, влажность) в процессе сушки. Установлено, что наиболее оптимальным является процесс, обеспечивающий сушку до 20 % объемной влажности.

Проведенный нами эксперимент показал, что при длительном (один отопительный сезон) хранении на складе оптимальная влажность топливных брикетов составляет от 10 (требование западных стандартов) до 20...25 % объемной влажности (ориентировочно).

Наиболее перспективно создание такой структуры теплоснабжения малых населенных пунктов, когда сырье и его качество, транспортная составляющая и процессы сжигания оптимально соответствуют друг другу.

Ключевые слова: древесные отходы, топливные гранулы, пеллеты, топливные брикеты, оптимизация, котельные, эффективность.

В России теплоснабжение обеспечивают более 180 тыс. котельных, большая часть из которых находится в малых населенных пунктах. Для многих из них источником энергии служит каменный уголь [2]. В последние годы резкий рост стоимости и транспортировки угля, снижение его качества приводят к росту тарифов на отпускаемую тепловую энергию. Для малых населенных пунктов эта проблема усугубляется тем, что котельные и тепловые сети имеют большой процент износа, а средства на их замену и ремонт отсутствуют.

Одним из путей решения этой проблемы является переход на местные виды топлива (торф, сельхозотходы, твердые бытовые отходы, отходы лесо- и деревоперерабатывающих предприятий).

Исследования показали, что использование древесных отходов и торфа невыгодно из-за их низкой теплотворной способности и изношенности оборудования котельных, не прошедших модернизацию. Предлагается применять технологию производства топливных гранул из древесных отходов, которая предусматривает измельчение, сушку и последующее прессование отходов до требуемых размеров [1].

Топливные гранулы в зависимости от размеров и структуры производства подразделяют на пеллеты и топливные брикеты. Цена на эти виды сопоставима, но производство топливных брикетов менее сложное, и они лучше подходят для сжигания на существующих котельных в малых населенных пунктах.

Достоинства топливных брикетов:

оборудование для их производства дешевле;

не требуется высококвалифицированный персонал для его обслуживания;

менее строгие требования к сырью (отходам);

возможность использования на существующих котельных.

Высокая цена является недостатком как пеллет, так и топливных брикетов, поэтому их в основном отправляют на экспорт, а не используют в качестве местного топлива. В настоящее время средняя цена на 1 т топливных брикетов (с учетом затрат на транспортировку) составляет 5000 р., каменного угля – 2000...3000 р. Таким образом, применение топливных брикетов как местного топлива регламентируется их ценой.

Кроме того, необходимо понимать, что мощности завода по производству топливных брикетов, деревообрабатывающего производства лесопиления и теплоснабжения в населенном пункте должны соответствовать друг другу.

Вычислим параметры систем теплоснабжения и производства, топливных брикетов для малого населенного пункта.

Предположим, что выработка топливных брикетов осуществляется только в теплый период года (с мая по сентябрь) и ведется в две смены по 8 ч (переход на 3-сменный режим практически невозможен из-за технологических особенностей и повышенного износа оборудования).

Максимальное количество топливных брикетов, которое можно произвести за год:

$$G_{\max} = 22 \cdot 5 \cdot 16 \cdot 1 = 1760 \text{ т/год,}$$

где 22 – число рабочих дней в месяце;

5 – число месяцев;

16 – продолжительность рабочего дня, ч;

1 – производительность линии, т/ч.

Теплота сгорания брикетов $Y = 4,5$ Гкал/т, коэффициент полезного действия топлива $\eta = 80 \%$.

Рассчитаем необходимое для нужд теплоснабжения количество теплоты:

$$Q = G_{\max} \eta Y = 1760 \cdot 0,8 \cdot 4,5 = 6336 \text{ Гкал/год.}$$

В сельской местности потери в тепловых сетях составляют 20 %, тогда полезное количество теплоты

$$Q_{\text{пол}} = 6336 \cdot 0,8 = 5068,8 \text{ Гкал/год.}$$

В Северо-Западном регионе РФ на отопление многоквартирных домов на 1 чел. требуется 4 Гкал/год. Таким образом, максимальное количество человек, проживающих в поселке и пользующихся центральным отоплением, может составлять $5068,8/4 = 1267$ чел.

Выясним, каким должен быть объем деревообрабатывающего производства (пилорама) в поселке. Известно, что для производства 1 т топливных брикетов необходимо 3 м^3 древесных отходов, т. е. на $G_{\max} = 1760$ т/год необходимо $1760 \cdot 3 = 5280 \text{ м}^3$ опилок. При процессах деревообработки образуется в среднем 20 % отходов. Значит в год на пилораме должно выпускаться $5280/0,2 = 26\,400 \text{ м}^3$ деловой древесины.

Как отмечалось выше, главная причина малого спроса на топливные брикеты – их высокая цена.

Для анализа цены на топливные брикеты рассмотрим технологическую схему их производства. Исходное сырье поступает на склад, после чего в рубильной машине измельчается в щепу диаметром 5...10 мм. Щепа подсушивается, затем подается в дробилку для измельчения (1...2 мм) и через циклон попадает в установку, где сушится до влажности 8...15 %. По каналам пневмотранспорта через циклон она попадает в пресс (экструдер), где уплотняется (в зависимости от технологии форма гранул может быть разная). Производительность линии зависит от пресса и варьируется от 0,2 кг/ч до 5,0 т/ч.

Анализ действующего оборудования показал, что при производительности более 1,5 т/ч стоимость линии для изготовления топливных брикетов резко возрастает. Таким образом, линия производительностью до 1,5 т/ч наиболее подходит для малых населенных пунктов.

Проанализируем структуру себестоимости производства топливных брикетов. Существенного снижения себестоимости топливных брикетов (на 25...30 %) можно достичь за счет снижения затрат на электроэнергию, топливо, амортизацию и ремонт оборудования.

Известно, что использование топливных брикетов с низкой объемной влажностью (7...9 %) повышает температуру горения до 1100 °С. Это приводит к быстрому выходу из строя оборудования на котельных малых населенных пунктов. Чтобы этого избежать, необходимо иметь топливные брикеты с влажностью, превышающей существующую.

Решение выше перечисленных проблем (снижение себестоимости производства брикетов и использование на существующих котельных брикетов с большей влажностью) позволит не только снизить составляющие себестоимости (затраты на сушку, на электроэнергию (более «мягкое» сырье), на аморти-

зацию за счет использования технологической линии производительностью до 1,5 т/ч.), но и использовать эти брикеты на существующих котельных за счет снижения температуры горения до 800...850 °С.

Наши расчеты показали, что основным параметром оптимизации влажности топливного брикета является тариф на отпускаемую тепловую энергию:

$$T = T_r / (\eta r), \quad (1)$$

где T_r – цена топлива, р./т;

r – теплота сгорания топлива, ГДж/т.

Таким образом, критерием экономической целесообразности использования топливных брикетов будет следующее условие:

$$(T_{к.у} - T_{т.б}) > 0, \quad (2)$$

где $T_{к.у}$ – цена каменного угля;

$T_{т.б}$ – тариф на топливные брикеты.

В настоящее время соотношение (2) для Вологодской области имеет отрицательное значение [3].

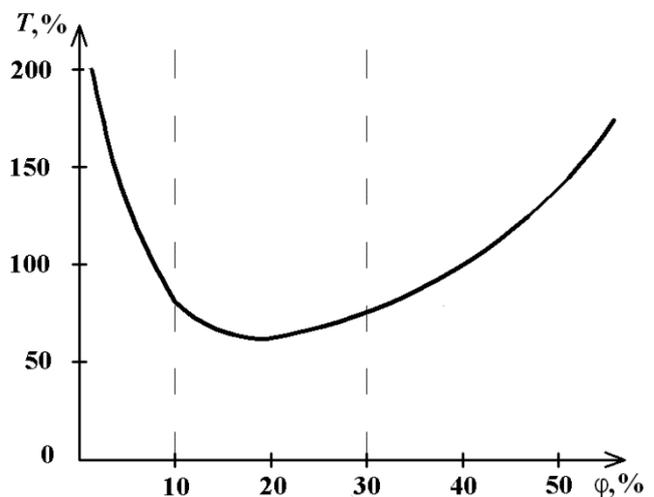
Используя формулу (1), проанализируем влияние влажности на основные характеристики топлива: тариф, теплота сгорания топлива и коэффициент полезного действия.

Опытным путем была установлена зависимость влажности топливного брикета от тарифа на отпускаемую тепловую энергию, которая представлена на рисунке.

Из приведенного графика видно, что оптимальное значение влажности составляет 18...20 %. Уменьшение влажности ниже 10 % и ее увеличение выше 30 % приводят к резкому росту тарифа на тепловую энергию, произведенную из топливных брикетов.

Проведенный нами анализ показал, что для разных малых населенных пунктов оптимальная влажность брикетов может меняться с учетом их конкурентоспособности [4].

Зависимость тарифа T на отпускаемую тепловую энергию от влажности φ брикета
($T = r(\varphi)$)



Изложенный в статье подход к проблеме использования топливных брикетов в качестве местного вида топлива предусматривает и управленческие решения, предполагающие создание в малом населенном пункте дополнительных производств (например, столярного) с низкой влажностью отходов, что позволит отказаться от дорогостоящей сушки сырья для топливных брикетов и снизит затраты на теплоснабжение малого населенного пункта.

Например, обычные отходы деревообработки имеют объемную влажность около 40 %, отходы столярного производства – не более 10 %. Смешивание этих двух видов отходов позволяет отказаться от дорогостоящей сушки при производстве топливных брикетов.

Необходимо отметить, что в наших расчетах не учитывались такие положительные эффекты от производства топливных брикетов, как решение экологических проблем – утилизация отходов; дополнительные доходы в бюджет населенного пункта; создание новых рабочих мест.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ энергетического потенциала древесных отходов в лесопромышленном комплексе Архангельской области /О.Д. Мюллер, В.И. Малыгин, В.Т. Харитоненко, Л.В. Кремлева // Лесн. журн. 2010. № 3. С. 94–100. (Изв. высш. учеб. заведений).
2. Национальный доклад «Теплоснабжение Российской Федерации. Пути выхода из кризиса» // Б.Ф. Реутов, И.Н. Пыжов, В.В. Потапов [и др.]. Режим доступа: http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=596.
3. Углов М.А., Царев А.С. Техничко-экономическая оценка использования топливных брикетов // Молодые исследователи – регионам: материалы всерос. науч. конф. В 2-х т. Вологда: ВоГТУ, 2011. Т. 1. 484 с.
4. Царев А.С. Оптимизация топливных брикетов // Молодые исследователи – регионам: материалы всерос. науч. конф. Вып. 2. Вологда: ВоГТУ, 2011. 75 с.

Поступила 13.03.12

Use of Biomass Briquettes in the Municipal Heating System of Small Communities

V.A. Petrinchik, Candidate of Engineering, Associate Professor

A.S. Tsarev, Postgraduate Student

Vologda State Technical University, Lenin, 15, Vologda, 160000, Russia

E-mail: diplom2005@bk.ru

Small communities in Russia have been experiencing problems with heat supply. The constant growth of fuel and transportation rates leads to higher heating prices. This, in turn, makes local goods uncompetitive and provokes social problems.

The article highlights one of the ways to solve these problems: using fuel from local wood waste (pellets and biomass briquettes).

We show that the most favourable choice for small communities are biomass briquettes and propose their optimization, taking into account the specific features of the set-

lements, wood waste and heat consumption. In addition, the article examines the basic thermal characteristics of briquettes: calorific value, moisture content and drying processes.

The optimal drying of raw material for biomass briquettes is the one that provides drying of up to 20 % of volumetric moisture content.

The experiment conducted by the authors showed that at long-term storage (one heating season) of fuel briquettes in stock their optimum moisture content is from 10 % of volumetric moisture content (according to western standards) to approximately 20–25 %.

The most favourable solution is, in our opinion, creating a system of heat supply to small communities where raw materials and their quality, as well as transportation and combustion processes, are perfectly suited to each other.

Keywords: wood waste, pellets, biomass briquettes, optimization, boiler-house, efficiency.

REFERENCES

1. Myuller O.D., Malygin V.I., Kharitonenko V.T., Kremleva L.V. Analiz energeticheskogo potentsiala drevesnykh otkhodov v lesopromyshlennom komplekse Arkhangel'skoy oblasti [Energy Potential Analysis of Wood Waste in Forest Industry of the Arkhangel'sk Region]. *Lesnoy zhurnal*, 2010, no. 3, pp. 94–100.

2. Reutov B.F., Pyzhov I.N., Potapov V.V., Berdin V.Kh., Boldarev V.M., Galkin Yu.Yu., Pirpozhev N.V., Tkachenko N.F. *National report "Heat Supply in the Russian Federation. Ways out of the Crisis"* (in Russian). Available at: http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=596.

3. Uglov M.A., Tsarev A.S. Tekhniko-ekonomicheskaya otsenka ispol'zovaniya toplivnykh briketov [Technical and Economic Evaluation of the Use of Biomass Briquettes]. *Molodye issledovateli – regionam: materialy vseros. nauch. konf.* [Young Researchers – to the Regions: Proc. All-Russian Sci. Conf.]. In 2 vols. Vologda, 2011, vol. 1. 484 p.

4. Tsarev A.S. Optimizatsiya toplivnykh briketov [Optimization of Biomass Briquettes]. *Molodye issledovateli – regionam: materialy vseros. nauch. konf.* [Young Researchers – to the Regions: Proc. All-Russian Sci. Conf.]. 2011, iss. 2. 75 p.



КОНФЕРЕНЦИИ И СОВЕЩАНИЯ

УДК 061.3

СЕССИЯ РКСД И КОНФЕРЕНЦИЯ В КОСТРОМЕ

© *Б.Н. Уголев, д-р техн. наук, проф.*

Московский государственный университет леса, ул. 1-я Институтская, 1,
г. Мытищи-5, Московская обл., Россия, 141005
E-mail: ugolev@mgul.ac.ru

Очередная годовичная сессия Регионального координационного совета по современным проблемам древесиноведения (РКСД) состоялась в Костроме с 9 по 12 октября 2012 г. в рамках организованной совместно с Костромским государственным технологическим университетом (КГТУ) Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса», посвященной 50-летию кафедры механической технологии древесины КГТУ.

В конференции приняли участие около 70 преподавателей, научных сотрудников и аспирантов из отечественных и зарубежных университетов и научных центров, а также представители департаментов образования и науки и лесного хозяйства администрации Костромской области, профильных предприятий и организаций.

Открывая конференцию председатель РКСД проф. Б.Н. Уголев рассказал о разных формах деятельности РКСД, в том числе об участии в международных и отечественных форумах, о древесиноведческой экспертизе проектов национальных и международных стандартов. Успешно функционировал Регистр экспертов высшей квалификации по древесиноведению и прикладным дисциплинам, который в 2012 г. включал 147 экспертов России, Белоруссии, Болгарии, Венгрии, Латвии, Украины. Роль РКСД в подготовке научно-педагогических кадров отразил в своем докладе проф. А.А. Титунин (КГТУ).

Всего было заслушано 22 из 98 представленных и опубликованных в материалах конференции докладов из России, Болгарии, Латвии, Украины, Швейцарии.

В докладе проф. Е.А. Пинчевской (НУБиП Украины, Киев) были освещены возможности развития рынка столярно-строительных изделий Украины. Асп. С.Ю. Белковский (МГУЛ, Москва) от имени коллектива авторов (Б.Н. Уголев, Г.А. Горбачева, С.Ю. Белковский) рассказал о количественной оценке эффекта памяти древесины. Доц. Н. Бърдаров (Лесотехнический университет, София, Болгария) представил результаты исследования влияния поперечных размеров образцов на некоторые акустические свойства древесины. В докладах проф. Е.Н. Покровской (МГСУ, Москва) отражены результаты экспериментальных ис-

следований влияния старения на структуру и свойства древесины как полимерного композита, а также пожароопасных свойств древесины в присутствии фосфор-, кремнийорганических антипиренов. Об использовании методов томографического анализа для оценки внутренней структуры круглых лесоматериалов доложил проф. А.Н. Чубинский (СПбГЛТУ, С.-Петербург). Доклад проф. Ю.П. Семенова (МГУЛ) посвящен прогнозированию цвета термомодифицированной древесины. Результаты исследования прочности древесины сосны после воздействия пожара 2010 г. в УОЛ ВГЛТА представлены в докладе проф. А.Д. Платонова (совместно с Т.К. Курьяновой, ВГЛТА, Воронеж). Доц. Л.Л. Леонтьев (СПбГЛТУ) рассказал об особенностях высыхания древесины сосны при экспонировании радиальной, тангенциальной и торцевой поверхностей. Доклад проф. А.И. Агапова (ВятГУ, Киров) посвящен определению оптимальных размеров обрезной доски, получаемой из сегмента, с учетом ширины пропила. О структуре древесины мореного дуба доложил канд. с-х. наук П.А. Аксенов (совместно с К.С. Погуляй, МГУЛ). Аспиранты Е.М. Цветкова и Е.Ю. Салдаева (ПГТУ, Йошкар-Ола) представили результаты исследования жесткости молодых деревьев ели. Маг. К.С. Погуляй (МГУЛ) рассказала о роли расчетной лесососеки в обеспечении принципа непрерывности, неистощительности лесосеки. Асп. А.А. Калинина (МГУЛ) от имени коллектива авторов (Б.Н. Уголев, В.П. Галкин, А.А. Калинина) доложила результаты исследования влияния уровня нагрузки и влажности на величину заморозенной усушки древесины.

Были представлены работы, выполненные в КГТУ под руководством проф. С.А. Угрюмова: асп. Д.А. Кожевников сделал доклад о перспективах производства и применения плитных композиционных материалов на основе совмещенных наполнителей, асп. А.С. Свешников рассказал о технологических особенностях производства композиционной фанеры. Результаты исследования свойств древесностружечных плит с использованием совмещенных смол были представлены асп. А.А. Федотовым. Модификации карбамидоформальдегидного связующего добавкой серы в целях улучшения эксплуатационных характеристик древесных композитов был посвящен доклад асп. А.Н. Яблокова. Доц. Т.Н. Вахнина рассказала о древесно-полимерных композитах с добавкой измельченных полимерных отходов.

Доклад зав. кафедрой проф. С.А. Угрюмова был посвящен истории и перспективах развития кафедры механической технологии древесины КГТУ.

Канд. техн. наук В.В. Кислый (Фирма «МП «ДОМ», Балабаново) доложил о системе оценки качества хвойного пиловочника и пилопродукции из него. В докладе доц. Е.В. Саликовой (совместно с В.П. Чулковым, КГТУ) была представлена автоматизированная система управления котлом для утилизации древесных отходов. От имени группы исследователей (М.В. Газеев, И.В. Жданова, Е.В. Тихонова, УГЛТУ, Екатеринбург) доц. М.В. Газеев выступил с докладом, посвященным инновационному подходу к отверждению лакокрасочных покрытий на древесине. Об оценке долговечности защитно-декоративного покрытия на элементах игрового оборудования сделала доклад доц. Т.И. Карасова (КГТУ).

В рамках конференции был проведен круглый стол «Проблемы подготовки инженерных кадров для лесного комплекса», на котором обсуждались вопросы уровневой подготовки кадров, значение практико-ориентированного подхода к реализации программ образовательных дисциплин, степень готовности работодателей к приему выпускников бакалавриата. В качестве докладчиков выступили проф. А.Н. Чубинский (СПбГЛТУ), проф. Б.Н. Уголев (МГУЛ), проф. А.А. Титунин (КГТУ), проф. Е.Н. Покровская (МГСУ), проф. А.Д. Платонов (ВГЛТА).

Участники круглого стола подчеркнули особую важность дисциплины «Древесиноведение» как базовой для изучения других дисциплин учебного плана подготовки по направлению 250400 «Технология лесозаготовительных и деревообрабатывающих производств», а также роль фундаментальных знаний в области древесиноведения в процессе обучения студентов технологическим аспектам обработки и использования древесины. В принятом постановлении РКСД среди ряда рекомендаций предлагается:

обратиться к профильным вузам с предложением о введении в вариативную часть дисциплин общепрофессионального цикла дисциплины «Физико-химические методы анализа древесины»;

считать обязательным условием при преподавании дисциплины «Физика древесины» наличие у лектора базового образования по древесиноведению.

Собравшимся были представлены сообщения от 43 членов РКСД и Ресстра экспертов об активности в области древесиноведения в истекшем году. В их числе известные ученые: С.И. Акишенков (СПбГЛТУ), Г.Ф. Антонова (ИЛ СО РАН, Красноярск), М. Бабияк (ЗТУ, Зволен, Словакия), В.Н. Ермолин (СибГТУ, Красноярск), В.Б. Звягинцев (БГТУ, Минск, Белоруссия), Б. Казаль (ВКИ, Брауншвайг, Германия), Т. Капс (ТУ, Таллинн, Эстония), М.В. Кистерная (ФГУК, музей-заповедник «Киж»), В.А. Козлов (ИЛ КНЦ РАН, Петрозаводск), Н.В. Классен (ИФТТ РАН, Черногоровка), Н.Е. Косиченко (ВГЛТА), А.К. Курицын (ООО «Лесэксперт», Москва), Ю.Б. Левинский (УГЛТУ), Л.Л. Леонтьев (СПбГЛТА), С.Р. Лоскутов (ИЛ СО РАН), В.И. Мелехов (САФУ, Архангельск), В. Молински (СУ, Познань, Польша), П. Нимц (ШФТИ, Цюрих, Швейцария), Л.Л. Новицкая (ИЛ КНЦ РАН, Петрозаводск), К.А. Роценс (РГУ, Рига, Латвия), А.П. Рябоконт (УкрНИИЛХА, Харьков, Украина), В.Г. Санаев (МГУЛ), Р.Р. Сафин (КГТУ), В.И. Федюков (ПГТУ), Е.С. Чавчавадзе (БИН РАН, С.-Петербург) и др. С краткими аннотациями можно познакомиться в бюллетене «Информация РКСД-2012».

На сессии было сообщено, что члены РКСД проф. Б. Казаль и проф. В.Г. Санаев в марте 2012 г. были избраны академиками ИАВС, проф. П. Нимц в сентябре 2012 г. – в Правление ИАВС. Новым членом РКСД был единогласно избран доц. Н. Бърдаров (кафедра механической технологии древесины Лесотехнического университета, София, Болгария).

РКСД принимает активное участие в международных форумах, на которых обсуждаются древесиноведческие проблемы.

С 25 по 28 сентября 2012 г. в Зволенском техническом университете (ЗТУ, Зволен, Словакия) состоялись пленарное заседание ИАВС и конференция ИАВС «Древесина – лучший материал для человечества», а также «Взаимодействие древесины с различными формами энергии». Объединенная конференция под девизом «Мы сможем разумно использовать древесину, только если мы будем понимать ее» собрала представителей 4 континентов из 19 стран.

Участников приветствовал Президент ИАВС акад. Л. Салмен (Швеция) и заведующий кафедрой древесиноведения ЗТУ акад. М. Бабияк (Словакия). Традиционно заседание началось с академической лекции, право прочитать которую было предоставлено акад. К. Руель (Франция). В академической лекции «Понимание древесины на наноуровне. Ультраструктурная организация клеточных стенок» отражены современные представления о строении древесины. В докладе лауреата премии ИАВС за лучшую диссертацию Х. Сехаки (Швейцария) представлены результаты исследования нанофибриллизированной целлюлозы из древесины, используемой в высоковязких материалах в качестве конструкционных блоков. Тематика представленных докладов охватывала широкий круг проблем: формирование и строение древесины, взаимодействия в системе древесина–вода–тепло, реакция древесины на механические воздействия, свойства поверхности древесины, взаимодействие между древесиной и различными видами излучений, показатели качества древесины различного назначения, экологические свойства древесины, свойства древесных композиционных материалов, использование древесины в строительстве.

На конференцию представили доклады члены РКСД: Ш. Мольнар (Венгрия), Б. Казаль (Германия), Я. Долацис (Латвия), И. Н. Вариводина, Г.А. Горбачева, Б.Н. Уголев (Россия). М. Бабияк (Словакия), П. Нимц (Швейцария).

Члены РКСД также приняли участие в следующих форумах:

Г.Ф. Антонова – VIII Международный симпозиум «Larch in a warm climate», ИЮФРО, Национальный лесной центр Исландии, 11–13 сентября 2012 г.;

Н. Бърдаров – научно-техническая конференция «Инновации в лесной промышленности и инженерном проектировании», Лесотехнический университет, София, Болгария, 15–17 ноября 2012 г.;

М.В. Кистерная, В.А. Козлов – международный научно-практический семинар «Fungi and beetles in historic timber structures in Northern Europe», Сортавала, Петрозаводск, 29 мая – 1 июня 2012 г.; международный семинар «Wooden Architecture», Лейпциг, Германия, 22 ноября 2012 г.

А.К. Курицын, Б.Н. Уголев, С.Н. Рыкунин, Г.А. Горбачев – семинар в МГУЛ, посвященный обсуждению подготовленного Центром стандартизации и сертификации круглых лесоматериалов и пиломатериалов ООО «Лесэксперт» пособия по учету круглых лесоматериалов;

Н.Н. Николаева – Панамериканская конференция Recife, PE, Бразилия, 1–5 октября 2012 г.; международный научно-практический семинар «Fungi and beetles in historic timber structures in Northern Europe», Сортавала, Петрозаводск, 29 мая–1 июня 2012 г.;



П. Нимц – международные конференции: SAH Statusseminar, Берн, 23.04.2012 г.; Holztechnisches Kolloquium, TU Dresden 2012 г.; «Energieeffizienz in kirchlichen Liegenschaften», 21–22.05.2012 г.; «Kleben von Holz und Holzwerkstoffen», Bayern Innovativ, Würzburg, Германия, 19–20.06.2012 г.; 5th International Conference Building Physics, Киото, Япония, 28–31.05.2012 г.; IUFRO – All Division 5 Conference, Estoril, Лиссабон, Португалия, 08–13.07.2012 г.; 12th International IUFRO Wood Drying Conference, Белен, Бразилия, 30.07.–03.08.2012 г.;

С.П. Трофимов – международная конференция «Оконный рынок-2012»;

Д.А. Щедро, В.В. Пучков – симпозиумы, организованные в рамках международных Московского и XIV Петербургского лесопромышленных форумов и XV научно-практической конференции «Состояние и перспективы развития производства древесных плит».

РКСД выразил благодарность и.о. проректора по учебной работе КГТУ, проф. А.А. Титунину, зав. кафедрой механической технологии древесины, проф. С.А. Угрюмову, доц. кафедры механической технологии древесины Т.Н. Вахниной за организацию и проведение мероприятий очередной сессии РКСД и международной научно-технической конференции.

Поступила 04.04.13

Session of the Regional Coordinating Council for Wood Science and Conference in Kostroma

B.N. Ugolev, Doctor of Engineering, Professor

Moscow State Forest University, 1-ya Institutskaya, 1, Mytishchi-5, Moscow Region, 141005, Russia
E-mail: ugolev@mgul.ac.ru



КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

**УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ В.И. МОСЯГИНА
«ЦЕНЫ И ЦЕНООБРАЗОВАНИЕ В ЛЕСНОМ КОМПЛЕКСЕ» –
НАСТОЛЬНАЯ КНИГА ДЛЯ СТУДЕНТОВ И СПЕЦИАЛИСТОВ**

© *А.И. Кораблев, канд. экон. наук, проф.*

С.-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова,
Институтский пер., 5, С.-Петербург, Россия, 194021

С момента издания в 2008 г. первого издания учебного пособия доктора экономических наук, профессора В.И. Мосягина «Ценообразование в лесном комплексе» прошло 5 лет, в 2012 г. вышло второе издание с более расширенным и углубленным содержанием – «Цены и ценообразование в лесном комплексе». Данные учебные пособия успешно используются в учебном процессе и практически служат настольной книгой не только для студентов и магистрантов факультета экономики и управления С.-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, но и для студентов других вузов лесного профиля.

Обратимся к изданию «Цены и ценообразование в лесном комплексе», которое представляет собой систематизированное и комплексное рассмотрение вопросов теории и практики ценообразования.

Заслуга автора состоит в том, что учебное пособие написано понятным экономическим языком и доступно для понимания как специалистов, так и студентов. Автор скромно именуется свой труд учебным пособием для студентов, но знакомство с изданием позволяет отметить, что написанная работа гораздо шире и глубже заявленного формата.

В условиях рыночных отношений особый интерес представляют проблемы цен и ценообразования, определение их места и роли в действующих рыночных условиях хозяйствования. Это предполагает изучение теории рыночного ценообразования, а также практики установления и применения цен, их уровней и соотношений. В учебном пособии достаточно четко и аргументировано показано, что эти непростые проблемы имеют комплексный характер.

В работе убедительно доказано, что экономическая природа, внутреннее состояние и предназначение цен четко проявляются в выполняемых ими функциях. Поскольку уровень цены конкретен, а выполняет она разные функции, естественно эти функции взаимосвязаны между собой и находятся в единой системе. При этом имеет место определенное ранжирование, в результате чего устанавливается соподчиненность всех функций цены. В рыночной экономике доминирующую роль играет функция сбалансирования спроса и предложения. В большинстве случаев по отношению к этой функции оцениваются

другие функции цены. При этом взаимосвязь выполняемых ценой функций характеризуется целенаправленностью и противоречивостью, что должно находиться в поле зрения маркетологов и специалистов по ценообразованию.

Авторам предпринята попытка на материалах отраслей лесного комплекса разъяснить и раскрыть содержание прикладных проблем ценообразования, сосредоточив основное внимание на разработке цен в условиях рынка. Современная система цен лесного комплекса базируется на фундаментальных теоретических разработках и играет заметную роль в развитии различных лесоперерабатывающих производств. Однако для решения новых задач рыночного характера необходимо дальнейшее совершенствование этой системы. Поэтому в работе подробно рассмотрены вопросы не только определения и обоснования цен на лесопroduкцию, но и совершенствования таких цен, их полной адаптации к современному рынку. Вместе с тем все объекты лесного комплекса могут выступать предметом рыночных отношений. Так, автор подчеркивает, что основная продукция лесного хозяйства – лес (лесные угодья), в силу специфики лесовыращивания и других причин не может реализовываться по рыночным ценам. По свободным ценам могут и должны реализовываться продукты жизнедеятельности леса: заготовленные лесоматериалы, недревесные ресурсы, различные услуги леса и т.п.

В работе проведен критический анализ существующих концепций стоимостной оценки вторичных ресурсов, который выявил их логические несоответствия и противоречия; показана необходимость преодоления устаревших подходов в решении этого вопроса, не соответствующих современному уровню развития экономической науки. По мнению автора, при утилизации экономической оценка вторичных энергетических ресурсов должна производиться на основе сравнения затрат, овеществленных в отходах и замещенном топливе с учетом их эквивалентности по потребительским свойствам (теплоемкость, экологичность и др.). При использовании производственных отходов в качестве вторичных материальных ресурсов их цена должна включать топливную составляющую как минимальную оценку ресурса, а также часть экономии, получаемой в результате утилизации вторичных материальных ресурсов. Разумеется, предложенный подход к экономической оценке вторичных ресурсов не исключает, а скорее, наоборот, предполагает и другие методы их ценообразования в условиях рынка.

Важное внимание следует обратить на логику подачи материала в книге: от общего – к частному, от общетеоретических проблем ценообразования – к прикладным аспектам установления и обоснования цен на конкретные виды продукции. Информация с использованием необходимых иллюстраций (рисунков) излагается в простой и доходчивой форме и носит обобщенный, синтезированный характер.

При работе над книгой автор отдавал себе отчет в том, что кроме чисто научных проблем, необходимо учитывать и тот огромный интерес, который проявляется специалистами к анализу практических ситуаций в области цено-

образования. Книга содержит практические (расчетные) материалы, охватывающие как общие, так и прикладные вопросы ценообразования. По сути это сборник широко продуманных практических задач и ситуаций, содержащий рекомендации по их решению, что может оказаться весьма полезным на практике. Поэтому в заключительной части работы подробно и широко представлены различного рода задачи, упражнения, тесты, имитационные ситуации по основным вопросам рыночного ценообразования, в том числе и в лесной промышленности. Здесь же приведены необходимые методические рекомендации по решению поставленных задач и порядок проведения деловой игры, имитирующий процесс установления и обоснования договорных цен.

Для углубленного изучения проблем ценообразования дан подробный список литературы, который может помочь студентам и специалистам получить важную дополнительную информацию.

Учебники и учебные пособия д.э.н., проф. В. И. Мосягина весьма актуальны и необходимы. Они раскрывают те вопросы, которые носят спорный характер или вообще не освещались в печати. За последние годы им выпущено несколько книг, которые пользуются спросом, поскольку посвящены актуальным вопросам и путям решения проблем в отраслях лесного комплекса России.

V.I. Mosyagin's textbook "Prices and Pricing in Forest Industry" – a reference book for students and specialists

A.I. Korablev, Candidate of Economics, Professor

St. Petersburg State Forest Technical University, Institutskiy pereulok, 5,
St. Petersburg, 194021, Russia



ЮБИЛЕИ

УДК 630*902.1

**К 80-ЛЕТНЕМУ ЮБИЛЕЮ ЗАСЛУЖЕННОГО ДЕЯТЕЛЯ НАУКИ
ПРОФЕССОРА А.С. ТИХОНОВА**

Анатолий Семенович Тихонов родился 3 февраля 1934 г. на железнодорожной станции Байчурово Воронежской области в семье железнодорожника. Воспитание в многодетной семье заложило в нем трудолюбие, способствовало развитию чувства коллективизма и необходимости передачи жизненного опыта младшему поколению.

В 1944 г. его отец погиб на фронте, мать стала работать в Песковском лесхозе. Анатолий помогал матери в посадке леса, в прополке культур сосны и дуба. Первое приобщение к работе в лесу определило всю его дальнейшую жизнь.



В 1948 г. он поступил в Хреновской лесной техникум, где в это время работали такие преподаватели, как лесокulturист А.П. Сулханов, дендролог-энциклопедист А.И. Ванин, фитопатолог АА. Малкин и др., которые не только дали глубокие знания, но и зародили мечту стать инженером по лесным культурам.

После окончания техникума в 1951 г. Анатолий Семенович поступил во Всесоюзный заочный лесотехнический институт – ВЗЛТИ (Воронежское отделение) и работал в Ленинградском аэрофотолесостроительном тресте, возглавляемом бывшим директором Хреновского лесного техникума А.Ф. Ивоинским.

Во время работы в лесоустройстве А.С. Тихонов познакомился с лесным фондом лесхозов, расположенных в разных регионах СССР. За успехи в устройстве лесов был награжден почетной грамотой Ленинградского обкома ВЛКСМ и значком «Отличник социалистического соревнования Министерства сельского хозяйства СССР».

В результате наблюдений за лесным фондом страны он познал великую потенциальную способность главных пород к самовозобновлению. В своем

дипломном проекте он решил задачу восстановления кедра в Зяярском лесхозе.

Из преподавателей ВЗЛТИ и Ленинградской лесотехнической академии (ЛЛТА) он с благодарностью вспоминает талантливейших лекторов А.А. Байтина, П.Н. Тальмана, Д.В. Соколова, З.Я. Солнцева (автор оригинальных группово-выборочных рубок в ельниках), молодых, но очень требовательных преподавателей Е.В. Полянского (экономика) и А.Л. Синькевича (древесиноведение).

Государственная экзаменационная комиссия отметила склонность А.С. Тихонова к научной работе, поэтому ученый совет ВЗЛТИ дал рекомендацию для поступления в аспирантуру. В 1960 г. он поступил в заочную аспирантуру Ленинградского научно-исследовательского института лесного хозяйства (ЛенНИИЛХ), одновременно работая младшим научным сотрудником в возглавляемом проф. Н.Е. Декатовым отделе лесоводства и лесозаготовок. В последующие годы он занимал должности старшего инженера-технолога и старшего научного сотрудника.

Уже в первой статье, опубликованной в «Лесном журнале» (№ 6, 1963 г.), он описал точечный метод определения сомкнутости полога древостоя, разработанный им при консультации профессора математической статистики А.К. Митропольского. В дальнейшем А.С. Тихонов изучал развитие точечного метода за рубежом и опубликовал обзор в журнале «Лесоведение» (№ 3, 1971 г.).

В ЛенНИИЛХе Анатолий Семенович работал с 1960 г. по 1967 г. За это время он изучал в Ленинградской, Калининской и Смоленской областях лесоводственно-экономическую эффективность рубок в лиственно-еловых насаждениях с сохранением елового яруса. В 1966 г. в соавторстве с Н.Е. Декатовым были опубликованы рекомендации по рубкам в двухъярусных лиственно-еловых древостоях. За внедрение этих рекомендаций он был награжден бронзовой медалью ВДНХ СССР.

Его кандидатская диссертация получила одобрение на кафедре лесоводства ЛЛТА, и ее заведующий И.И. Шишков пригласил А.С. Тихонова работать ассистентом. Во время повышения квалификации в Московском лесотехническом институте в 1968 г. он прочитал свою первую лекцию целому потоку студентов. На лекции присутствовал весь состав кафедры.

В 1970 г. он был избран по конкурсу на должность доцента, в 1972 г. утвержден в этом звании по кафедре лесоводства. Им предложен метод перечислительной таксации молодняков с использованием нулевой и отрицательных ступеней толщины, опубликованный в «Лесном журнале» (№ 1, 1971 г.). Это позволило ему позже дополнить таблицу площадей и запасов при средней высоте 1; 1,3; 3 и 4 м. Получилось полное представление об элементах леса при формировании молодняков.

Для установления мест проходных рубок Д.М. Кравчинского в Лисинском лесничестве (лесхозе) пришлось просмотреть множество единиц хране-

ния в Центральном государственном архиве (г. Ленинград) и в Государственном историческом архиве Ленинградской области. Им был сделан вывод, что в учебниках искажена сущность «проходных рубок». Изучение их результатов в натуре и материалы кандидатской диссертации позволили дополнить А.С. Тихонову немецкую систему «форвальд», что отражено в брошюре ЦБНТИ Гослесхоза «Рубки в лиственно-еловых древостоях с сохранением второго яруса ели» (1977 г.). Им исследован вековой опыт выборочного хозяйства в ельниках на Карельском перешейке, динамика типов леса после сплошных рубок в ельниках.

С декабря 1974 г. по декабрь 1976 г. А.С. Тихонов работал старшим научным сотрудником для завершения докторской диссертации при консультации И.С. Мелехова. Под его редакцией в Ленинградском государственном университете вышла в 1979 г. монография «Лесоводственные основы различных способов рубки леса для возобновления ели».

С первых лет работы в библиотеках он аккумулировал материалы по истории лесного хозяйства. В Публичной библиотеке им. Салтыкова-Щедрина он отыскал переводы древнеримских авторов по земледелию и сделал вывод, что мировое лесоводство возникло во II веке до н.э.

После защиты докторской диссертации в 1981 г. и присуждения ученой степени доктора сельскохозяйственных наук А.С. Тихонов был избран на должность заведующего кафедрой лесоводства, через два года присвоено ученое звание профессора. Результаты экспериментов 1975 г. по коридорному кронокошению березы и осины над рядами культур ели освещались в «Лесном журнале» (№ 6, 1982 г.). В РИО ЛЛТА выходят в 1983 г. его конспекты лекций «Классическое лесоводство в рекреационных лесах» и «Рост и развитие насаждений» и статья в журнале «О становлении лесоводства в России» («Лесное хозяйство», № 12).

Он переезжает в г. Брянск. Здесь его избирают профессором кафедры лесоводства Брянского технологического института (теперь Брянская государственная инженерно-технологическая академия). Вместе с аспирантами разрабатывает программы рубок ухода по выращиванию дубово-еловых, дубово-сосновых и дубово-ясеневых насаждений. В 1995 г. А.С. Тихонову было присвоено почетное звание «Заслуженный деятель науки РФ».

Анатолий Семенович в 1996 г. создал цикл лекций по дисциплине «Этика лесоведа». В расширенном виде они были опубликованы дважды (в 2003 г. к 100-летию альма матер и в 2013 г.).

В результате многолетних исследований А.С. Тихонов изучил смену хвойно-широколиственных насаждений ольхой черной («Лесоведение», № 1, 1997 г.), уточнил границы Брянского лесного массива и его ландшафты (монография, 2001 г.), разработал шкалу оценки возобновления хвойно-широколиственных насаждений («Лесной журнал», № 1–2, 1997 г.). Полная шкала оценки естественного возобновления и культур по встречаемости опубликована им в последующих изданиях. Наиболее значимыми являются

«Лесоводство» (2005 г.), «Брянское опытное лесничество: 1906–2006» (2006 г.), «История лесного дела» (2007 г.), «Лесоведение» (2011 г.), «Типы леса, рубки, лесовозобновление и формирование древостоев в Скандинавско-Русской провинции» (2013 г.). В 2012 г. А.С. Тихонов завершил свои мемуары «Жизнь и логика лесовода». Всего Анатолием Семеновичем опубликовано 260 научных и методических работ общим объемом 350 печатных листов.

Он развивает Брянскую научную школу естественного лесовозобновления. Им подготовлено 18 кандидатов наук и оказана помощь 3 докторантам.

Ученики и коллеги восхищаются его энциклопедическими знаниями и желают ему здоровья, дальнейших творческих успехов.

V.F. Kovyazin,
доктор биологических наук, профессор кафедры лесоводства
С.-Петербургского государственного
лесотехнического университета им. С.М. Кирова

V.F. Kovyazin,
Doctor of Biology, Professor of St. Petersburg State Forest Technical University

To the 80th Anniversary of Honoured Scientist, Professor A.S. Tikhonov



ПАМЯТИ УЧЕНЫХ

ЮРИЙ МИХАЙЛОВИЧ СТАХИЕВ (1934 – 2004 гг.)

Ю.М. Стахийев – крупный ученый в области деревообработки, лесопиления, совершенствования оборудования и дереворежущего инструмента, талантливый изобретатель и опытный организатор, основоположник нового научного направления и научной школы по исследованию круглых пил, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАЕН, лауреат премии Ломоносовского фонда.

Родился Юрий Михайлович 19 февраля 1934 г. в г. Конотопе. После окончания школы поступил в Ленинградскую лесотехническую академию, где на факультете механической обработки древесины учился у А.Э. Грубе, А.Н. Песоцкого, М.С. Мовнина и других выдающихся отечественных ученых. Уже в те годы он проявлял большой интерес к исследовательской работе и неординарные способности.

В 1956 г., после окончания академии, Ю.М. Стахийев был направлен на лесопильный завод в г. Энгельс, где впервые столкнулся с проблемами, связанными с подготовкой и эксплуатацией дереворежущего инструмента. В 1960 г. Юрий Михайлович поступил в аспирантуру Центрального научно-исследовательского института механической обработки древесины (ЦНИИМОД) и прошел непростой путь от младшего научного сотрудника до заведующего ведущей в стране лаборатории дереворежущего инструмента. Здесь началась его интенсивная научная деятельность под руководством профессора, доктора технических наук А.Э. Грубе.

Им были проведены основополагающие исследования в области совершенствования технологии лесопиления и деревообработки, созданы уникальные установки для изучения инструмента, получено 70 патентов на изобретения, опубликовано более 300 научных работ в отечественных и зарубежных изданиях. Мировое признание получили его доклады на международных форумах и конференциях в Канаде, США, Словакии, Финляндии, Франции, Японии. Монографии Ю.М. Стахияева используются в качестве учебников в вузах России и других стран, а разработанные под его руководством Нормативные технические материалы по эксплуатации круглых пил применяются на всех предприятиях отрасли. Обширные знания в области лесопиления и резания древесины снискали ему уважение и признательность научного сообщества не только в России, но и за рубежом. Созданная им научная школа широко известна, его аспиранты успешно защищали кандидатские диссертации.

Вклад Юрия Михайловича в отечественную науку и ее популяризацию в мировом сообществе отмечен государственными и отраслевыми наградами.

Его биография включена в издаваемый с 1898 г. международный сборник «Кто есть кто в науке и технике» и другие энциклопедические издания.

Многочисленные ученики и коллеги с благодарностью вспоминают этого замечательного человека.

В.И. Мелехов, Г.Ф. Прокофьев

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

Р.В. Дерягин

Вологодский государственный технический университет

V.I. Melekhov, G.F. Prokofyev

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

R.V. Deryagin

Vologda State Technical University

Yury Mikhailovich Stakhiev (1934–2004)
