

ISSN 0536-1036

DOI: 10.17238/issn0536-1036

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

---

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

ИЗВЕСТИЯ  
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

---

# Лесной журнал

**Научный рецензируемый журнал**

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

2/368

2019

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)  
**АНГЕЛЬСТАМ П.** – зам. гл. редактора по европейскому направлению, д-р наук, проф. (Швеция, Скиннскаттеберг)  
**КОМАРОВА А.М.** – отв. секретарь, канд. с.-х. наук (Россия, Архангельск)

## ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

**Бессчетнов В.П.**, д-р биол. наук, проф. (Россия, Нижний Новгород)  
**Билей П.В.**, д-р техн. наук, проф., акад. ЛАН Украины (Украина, Львов)  
**Богданович Н.И.**, д-р техн. наук, проф. (Россия, Архангельск)  
**Ван Хайнинген А.**, д-р наук, проф. (США, Ороно)  
**Воронин А.В.**, д-р техн. наук, проф. (Россия, Петрозаводск)  
**Ефремова С.В.**, д-р техн. наук, проф. (Республика Казахстан, Алматы)  
**Залесов С.В.**, д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Екатеринбург)  
**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., акад. РАН (Россия, Москва)  
**Куров В.С.**, д-р техн. наук, проф. (Россия, Санкт-Петербург)  
**Лупашку Т.Г.**, д-р хим. наук, проф., акад. АНМ (Республика Молдова, Кишинев)  
**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)  
**Моисеев Н.А.**, д-р с.-х. наук, проф., акад. РАН (Россия, Москва)  
**Мясищев Д.Г.**, д-р техн. наук, проф. (Россия, Архангельск)  
**Наквасина Е.Н.**, д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Архангельск)  
**Нимц П.**, д-р наук, проф. (Швейцария, Цюрих)  
**Обливин А.Н.**, д-р техн. наук, проф. (Россия, Москва)  
**Онегин В.И.**, д-р техн. наук, проф. (Россия, Санкт-Петербург)  
**Памфилов Е.А.**, д-р техн. наук, проф. (Россия, Брянск)  
**Романов Е.М.**, д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Йошкар-Ола)  
**Сакса Т.**, д-р с.-х. наук, ст. науч. сотр. (Финляндия, Хельсинки)  
**Санаев В.Г.**, д-р техн. наук, проф. (Россия, Москва)  
**Селиховкин А.В.**, д-р биол. наук, проф. (Россия, Санкт-Петербург)  
**Сергеевичев В.В.**, д-р техн. наук, проф. (Россия, Санкт-Петербург)  
**Сёренсен У.Я.**, д-р наук, 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)  
**Тельшева Г.М.**, д-р хим. наук, проф. (Латвия, Рига)  
**Усольцев В.А.**, д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Екатеринбург)  
**Хабаров Ю.Г.**, д-р хим. наук, проф. (Россия, Архангельск)  
**Хакимова Ф.Х.**, д-р техн. наук, проф. (Россия, Пермь)  
**Холуша О.**, д-р наук, проф. (Чехия, Брно)  
**Черная Н.В.**, д-р техн. наук, проф. (Белоруссия, Минск)  
**Черных В.Л.**, д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Йошкар-Ола)  
**Ширнин Ю.А.**, д-р техн. наук, проф. (Россия, Йошкар-Ола)  
**Штукин С.С.**, д-р с.-х. наук, проф. (Белоруссия, Минск)  
**Энгельманн Х.-Д.**, д-р инж. наук, проф. (Германия, Эмден)

---

ISSN 0536-1036

DOI: 10.17238/issn0536-1036

MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION OF THE RUSSIAN FEDERATION

---

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

BULLETIN  
OF HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTIONS

---

# Lesnoy Zhurnal

## (Forestry Journal)

**Scientific peer-reviewed journal**

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

2/368

2019

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

## **EDITORIAL BOARD:**

**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)  
**ANGELSTAM P.** – Deputy Editor-in-Chief of the European department, PhD, Prof. (Sweden, Skinnskatteberg)  
**KOMAROVA A.M.** – Executive Secretary, Candidate of Agriculture (Russia, Arkhangelsk)

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

**Besschetnov V.P.**, Doctor of Biology, Prof. (Russia, Nizhny Novgorod)  
**Biley P.V.**, Doctor of Engineering, Prof., Member of the Forest Academy of Sciences of Ukraine (Ukraine, Lviv)  
**Bogdanovich N.I.**, Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Arkhangelsk)  
**Van Heiningen A.**, PhD, Prof. (USA, Orono)  
**Voronin A.V.**, Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Petrozavodsk)  
**Efremova S.V.**, Doctor of Engineering, Prof. (Republic of Kazakhstan, Almaty)  
**Zalesov S.V.**, Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Yekaterinburg)  
**Kamusin A.A.**, Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Moscow)  
**Kishchenko I.T.**, Doctor of Biology, Prof. (Russia, Petrozavodsk)  
**Kozhukhov N.I.**, Doctor of Economics, Prof., Member of the Russian Academy of Sciences (Russia, Moscow)  
**Kurov V.S.**, Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Saint Petersburg)  
**Lupascu T.G.**, Doctor of Chemistry Sciences, Prof., Member of the Academy of Sciences of Moldova (Republic of Moldova, Chisinau)  
**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)  
**Moiseev N.A.**, Doctor of Agriculture, Prof., Member of the Russian Academy of Sciences (Russia, Moscow)  
**Myasishchev D.G.**, Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Arkhangelsk)  
**Nakvasina E.N.**, Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Arkhangelsk)  
**Niemz P.**, PhD, Prof. (Switzerland, Zurich)  
**Oblivin A.N.**, Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Moscow)  
**Onegin V.I.**, Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Saint Petersburg)  
**Pamfilov E.A.**, Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Bryansk)  
**Romanov E.M.**, Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Yoshkar-Ola)  
**Saksa T.**, Doctor of Agriculture, Senior Researcher (Finland, Helsinki)  
**Sanaev V.G.**, Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Moscow)  
**Selikhovkin A.V.**, Doctor of Biology, Prof. (Russia, Saint Petersburg)  
**Sergeevichev V.V.**, Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Saint Petersburg)  
**Sørensen O.J.**, PhD, Prof. (Norway, Steinkjer)  
**Sigurðsson B.D.**, PhD, Prof. (Iceland, Hvanneyri)  
**Tarakanov A.M.**, Doctor of Agriculture, Chief Research Scientist (Russia, Arkhangelsk)  
**Telysheva G.M.**, Doctor of Chemistry, Prof. (Latvia, Riga)  
**Usol'tsev V.A.**, Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Yekaterinburg)  
**Khabarov Yu.G.**, Doctor of Chemistry, Prof. (Russia, Arkhangelsk)  
**Khakimova F.Kh.**, Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Perm)  
**Holuša O.**, PhD, Prof. (Czech Republic, Brno)  
**Chernaya N.V.**, Doctor of Engineering, Prof. (Belarus, Minsk)  
**Chernykh V.L.**, Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Yoshkar-Ola)  
**Shirnin Yu.A.**, Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Yoshkar-Ola)  
**Shtukin S.S.**, Doctor of Agriculture, Prof. (Belarus, Minsk)  
**Engelmann H.-D.**, Doctor of Engineering, Prof. (Germany, Emden)

---





## СОДЕРЖАНИЕ

## ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

<i>Н.М. Дебков, В.С. Панёвин.</i> Искусственное восстановление кедровых лесов Томской области.....	9
<i>А.И. Чудецкий, С.С. Багаев.</i> Оценка потенциала еловых насаждений для создания лесных плантаций лесоводственными методами в южно-таежном районе европейской части России.....	22
<i>А.В. Грязькин, Н.В. Беляева, Д.А. Данилов, Г.В. Ванджурак, Ву Ван Хунг.</i> Изменчивость толщины и массы коры березы по длине ствола.....	32
<i>В.Н. Коновалов, Л.В. Зарубина.</i> Отток и распределение <sup>14</sup> C-ассимилятов у ели при выборочных рубках в северотаежных фитоценозах.....	40
<i>С.Н. Тарханов, Е.А. Пинаевская.</i> Изменчивость морфоструктурных признаков ели разного возраста в условиях севера Архангельской области.....	56
<i>А.С. Новосёлов.</i> Смолопродуктивность сосны на объекте гидротехнической мелиорации после несплошной заготовки древесины.....	67
<i>А.И. Смирнов, Ф.С. Орлов, В.В. Беляев, П.А. Аксенов.</i> Влияние низкочастотного электромагнитного поля на биометрические характеристики семян сосны обыкновенной ( <i>Pinus sylvestris</i> L.).....	78

## ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

<i>Э.Ф. Герц, Н.Н. Теринов.</i> К вопросу об организации рубок с применением бензомоторных пил и мини-тракторов.....	86
<i>Е.В. Чернышова, А.В. Скрыльников, В.В. Самцов, М.А. Абасов.</i> Лесовозные автомобильные дороги в транспортной сети лесопромышленного предприятия.....	95

## МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

<i>Е.А. Памфилов, Г.А. Пилушина, Е.В. Шевелева, Я.С. Прозоров, П.Г. Пыриков.</i> Повышение работоспособности подающих устройств деревоперерабатывающего оборудования.....	102
<i>В.Е. Данилов, А.М. Айзенштадт.</i> Использование модифицированной древесной коры сосны обыкновенной в качестве засыпной теплозвукоизоляции.....	111

## ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

<i>А.В. Поташев, А.В. Гурьев, И.Б. Филиппов, В.Г. Мосеев.</i> Особенности деформирования структуры формованных изделий из целлюлозных волокон.....	119
--	-----

- Д.С. Русаков, Г.С. Варанкина, А.Н. Чубинский.* Модификация фенолоформальдегидных смол отходами производства алюминия и целлюлозы..... 130

*КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ*

- Н.А. Бабич, А.А. Дрочкова, А.М. Комарова, О.П. Лебедева, М.М. Андропова.* Вариативность массовых характеристик семян *Pinus sylvestris* L. в таежной зоне..... 141
-



## CONTENTS

## FORESTRY

<i>N.M. Debkov, V.S. Panevin.</i> Artificial Reforestation of Siberian Pine Forests in Tomsk Region.....	9
<i>A.I. Chudetsky, S.S. Bagaev.</i> Potential Assessment of Spruce Stands for the Development of Forest Plantations by Silvicultural Methods in the Southern Taiga Region of the European Part of Russia.....	22
<i>A.V. Gryazkin, N.V. Belyaeva, D.A. Danilov, G.V. Vandzhurak, Vu Van Hung.</i> Thickness and Weight Variability of Birch Bark along the Trunk Length.....	32
<i>V.N. Kononov, L.V. Zarubina.</i> Outflow and Distribution of Spruce <sup>14</sup> C-Assimilates after Selective Felling in the Northern Taiga Phytocenosis.....	40
<i>S.N. Tarkhanov, E.A. Pinaevskaya.</i> Variability of Morphostructural Features of Uneven-Aged Spruce in the North of Arkhangelsk Region.....	56
<i>A.S. Novoselov.</i> Resin Productivity of Pine after Partial Logging on the Hydrotechnical Reclamation Site.....	67
<i>A.I. Smirnov, F.S. Orlov, V.V. Belyaev, P.A. Aksenov.</i> Influence of Low-Frequency Electromagnetic Field on Biometric Parameters of Scots Pine ( <i>Pinus sylvestris</i> L.) Seedlings.....	78

## WOOD EXPLOITATION

<i>E.F. Gerts, N.N. Terinov.</i> On the Issue of Thinning Schedule Using Gasoline Saws and Mini Skidders.....	86
<i>E.V. Chernyshova, A.V. Skrypnikov, V.V. Samtsov, M.A. Abasov.</i> Logging Roads in a Transportation Network of a Forest Industrial Enterprise.....	95

## MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOOD SCIENCE

<i>E.A. Pamfilov, G.A. Pilyushina, E.V. Sheveleva, Ya.S. Prozorov, P.G. Pyrikov.</i> Improving the Feeder's Working Capacity of Timber Processing Equipment.....	102
<i>V.E. Danilov, A.M. Ayzenshtadt.</i> The Use of Modified Scots Pine Bark as Filling Material of Heat and Sound Insulation.....	111

## CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD

<i>A.V. Potashev, A.V. Gur'ev, I.B. Filippov, V.G. Moseev.</i> Structure Deformation Features of Molded Pulp Products.....	119
--	-----

*D.S. Rusakov, G.S. Varankina, A.N. Chubinskiy.* Modification of Phenol Formaldehyde Resins by Wastes of Aluminum and Cellulosic Pulp Production..... 130

*BRIEF SUMMARIES*

*N.A. Babich, A.A. Drochkova, A.M. Komarova, O.P. Lebedeva, M.M. Andronova.* Variability of Weight Characteristics of *Pinus sylvestris* Seeds in the Taiga Zone 141

---



УДК 630\*228.7:582.475.4(571.16)  
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.9

## ИСКУССТВЕННОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ КЕДРОВЫХ ЛЕСОВ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

*Н.М. Дебков*<sup>1,2</sup>, канд. с.-х. наук, науч. сотр.  
*В.С. Панёвин*<sup>3</sup>, канд. с.-х. наук, доц.

<sup>1</sup>Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, просп. Академический, д. 10/3, г. Томск, Россия, 634055; e-mail: nikitadebkov@yandex.ru

<sup>2</sup>Всероссийский НИИ лесоводства и механизации лесного хозяйства, ул. Институтская, д. 15, г. Пушкино, Московская область, Россия, 141202

<sup>3</sup>Национальный исследовательский Томский государственный университет, просп. Ленина, д. 36, г. Томск, Россия, 634050; e-mail: panevin\_les@mail.ru

Проблема искусственного восстановления лесов волнует лесоводов не только России, но и других стран. Особенно это касается создания культур кедр сибирского *Pinus sibirica* Du Tour. В статье обобщен опыт искусственного воспроизводства кедровых лесов в южном и среднем лесных районах Томской области. Установлено, что доминирующая на практике подготовка почвы на вырубках бороздами с помощью лемешных плугов нецелесообразна, так как при этом удаляется перегнойно-аккумулятивный горизонт почвы, что вызывает задержку роста кедр сибирского на 8–10 лет. Выявлено, что посадка кедр сибирского в дно борозды приводит к его вымоканию и заваливанию травянистой растительностью. В среднем лесном районе возможна, а во многих случаях и необходима посадка культур без подготовки почвы. Для закладки культур кедр наиболее приемлемы микроповышения и минерализованные полосы с сохраненным верхним горизонтом почвы. Лесные культуры предпочтительнее закладывать крупномерными саженцами, что позволит при невысоком травяном покрове отказаться от агротехнических уходов. Густота культур может быть небольшой (1,0...1,5 тыс. шт./га), причем сохраняется лесная среда за счет сопутствующих пород. На вырубках культуры кедр повсеместно зарастают лиственными породами, задерживающими рост и развитие кедр. Рубки ухода высокой интенсивности в культурах кедр сибирского вплоть до полной уборки лиственного яруса являются важнейшим и крайне необходимым лесохозяйственным мероприятием для восстановления кедровых лесов.

**Для цитирования:** Дебков Н.М., Панёвин В.С. Искусственное восстановление кедровых лесов Томской области // Лесн. журн. 2019. № 2. С. 9–21. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.9

**Ключевые слова:** кедр сибирский (*Pinus sibirica* Du Tour), лесные культуры, южный лесной район, средний лесной район, Томская область, оптимизация воспроизводства лесов.

### Введение

Культуры кедр сибирского (*Pinus sibirica* Du Tour) в Томской области начали создаваться с 1947 г., когда впервые на площади 1 га был произведен посев семян без подготовки почвы. Опыт оказался неудачным, посевы погибли. В последующие 16 лет было заложено еще 393 га культур разными способами.

С 1964 г. объемы закладки культур кедра резко возрастают. С этого времени отказываются от посева и полностью переходят к посадке сеянцев. Уже в 1965 г. создается 2053 га культур кедра, а всего за прошедший период лесокультурной деятельности их накопилось более 40 тыс. га [1]. При этом рост и развитие культур практически не изучались, за исключением нескольких работ [4, 7]. В других регионах Сибири этой проблеме уделялось большее внимание. Некоторые исследователи [3] отмечали хорошую приживаемость и сохранность создаваемых насаждений, что подтверждалось материалами ежегодных инвентаризаций 1–2-летних культур. Однако при анализе материалов лесоустройства и натурных наблюдений стали отмечать значительную гибель культур старших возрастов, переведенных в лесопокрытую площадь [9]. В Томской области из культур кедра сибирского до 10-летнего возраста в хорошем состоянии находится 14,3 %, в удовлетворительном – 29,8 %, неудовлетворительные и погибшие посадки составляют 55,9 % общей площади. Среди культур старше 10 лет – соответственно 9,5; 23,8 и 66,7 %. В первые 20 лет погибает 65 % культур, и их гибель продолжается в более старших возрастах. Значительная гибель культур кедра отмечена и в других регионах Западной Сибири. Так, в таежной зоне Новосибирской области 92,0 % культур погибли или находятся в неудовлетворительном состоянии [10].

Низкая сохранность лесных культур в таежной зоне общеизвестна, этот факт освещается в специальной литературе [5]. Анализ современного состояния искусственного лесовосстановления в таежной зоне свидетельствует, что до настоящего времени оно осуществляется по технологиям, не имеющим достаточного научного обоснования. Предположение о том, что в лесной зоне можно обеспечить искусственное восстановление простейшими способами, оказалось несостоятельным. Поэтому вопрос о лесных культурах, в том числе и кедровых, вновь актуален как с научной, так и с производственной точки зрения. В последнем случае особо важным является вопрос о целесообразности дальнейшего вложения значительных средств в создание культур кедра сибирского. При этом следует понимать, что в условиях меняющегося климата искусственное лесовосстановление становится мероприятием со слабо прогнозируемым результатом [14].

Цель исследования – обобщение опыта лесокультурного производства кедра сибирского в южном и среднем лесных районах Томской области и разработка рекомендаций по оптимизации искусственного восстановления кедровых лесов.

#### *Объекты и методы исследования*

Исследования проводились на территории Тимирязевского и Верхнекетского лесничеств, расположенных соответственно в южном и среднем лесных районах Томской области [6].

Для обобщения производственного опыта и сравнительной оценки культур кедра сибирского в зависимости от способа их создания использовались общепринятые методики [8]. Лесоводственная эффективность определялась по таксационной характеристике молодняка, формирующегося на вырубке (сроки смыкания, состав, интенсивность роста главной породы).

При рекогносцировочном обследовании выбирались наиболее характерные участки для детального обследования лесных культур путем закладки пробных площадей (ПП) размером от 0,18 до 1,10 га с наличием не менее

500 посадочных мест. За основной показатель при перече́те деревьев принималась высота, которая измерялась у всех экземпляров данного вида на ПП по ступеням высот через 10 см. На ПП отбиралось по 30...40 учетных деревьев, у которых измерялись: высота с точностью  $\pm 1$  см; диаметр на высоте груди или у шейки корня штангенциркулем с точностью  $\pm 0,1$  см; текущие приросты у осевого и латеральных побегов соответственно за 5 лет и 3 года.

Также изучено строение корневой системы у культур, созданных сеянцами, по способу П.К. Красильникова [2] с выкопкой деревьев, отмыванием корневой системы, зарисовкой и фотографированием.

Естественное возобновление на площадях лесных культур изучалось путем закладки круговых учетных площадок (УП) размером  $10 \text{ м}^2$  в количестве 25...30 шт. На них проводился сплошной учет самосева и подростов с определением их возраста, высоты, диаметра у шейки корня, текущего прироста в высоту и давалась общая характеристика их состояния. Поросль лиственных пород при высоте менее 3 м учитывалась по ступеням высот через 0,5 м, а при высоте более 3 м – по 2-сантиметровым ступеням толщины. Одновременно на УП описывалось состояние напочвенного покрова и определялось проективное покрытие трав и мхов.

Всего было обследовано 740 га культур кедров сибирского и заложена 31 ПП. В целом ПП достаточно хорошо характеризуют состояние культур вследствие их большой однотипности. Для изучения хода роста кедровых культур в высоту использовано 1700 модельных деревьев.

#### *Результаты исследования и их обсуждение*

Культуры кедров сибирского в Томской области закладываются сеянцами, в основном 2–3-летнего возраста. Густота кедровых культур не отличается от нормативов, принятых для других лесообразующих пород. С учетом того, что кедровые насаждения запрещены к рубке, создавать лесные культуры орехоплодной породы по нормативам, предназначенным для выращивания насаждения на древесину, нецелесообразно. Наш опыт формирования кедровников в Томской области показал, что густоту кедровых культур можно снизить в 2–3 раза (до 1,0...1,5 тыс. шт./га) при условии проведения рубок ухода на программной основе, т. е. систематически учитывая состояние кедров и целевое назначение кедровников.

Важным фактором, влияющим на приживаемость и сохранность лесных культур, является способ подготовки почвы. Также от него зависит ранний рост посадок [16]. Данные по Томской области показывают, что без подготовки почвы создается 5,3 % культур, 2,0 % площади готовится ручным способом, 89,3 % обрабатывается плугом ПКЛ-70, 3,3 % – плугом ПЛП-135. Сплошная подготовка почвы практически не применяется (составляет около 0,1 %). На вырубках, гарях и «шелкопрядниках» закладывается 84,4 % культур. Сравнительно высок их удельный вес на землях, пригодных для сельскохозяйственного использования, – 15,6 %. Наиболее распространены культуры с широкими междурядьями.

Почвы таежной зоны таковы, что при любом способе подготовки, ведущем к уборке верхних горизонтов на глубину 10...15 см, лесорастительные свойства их резко ухудшаются. Близкое расположение к поверхности неблагоприятных для роста корней горизонтов почвы подтверждается разрезами, заложенными на объектах наших исследований.

При существующей технологии подготовки почвы перегнойно-аккумулятивный горизонт практически полностью удаляется в ходе нарезки борозд, а растения высаживаются непосредственно в подзолистый или даже иллювиальный почвенный горизонт. Кедр сибирский лучше растет, когда его корни находятся в перегнойно-аккумулятивном горизонте, где повышенное содержание органического вещества, общего азота, подвижных форм фосфора и калия, высокая биологическая активность. Эксперимент по оценке влияния способа подготовки почвы, проведенный в Польше [11], показал, что для создания лесных культур лучше всего подходят мульчер и дисковый плуг, несколько худшие результаты дает лемешный плуг. Особенно важно, что после мульчера формируется обогащенный органикой перемешанный и относительно рыхлый слой, который активно впитывает и удерживает влагу [15, 18], что немаловажно в условиях южного лесного района.

С учетом важности подготовки почвы нами был использован прием, в котором проводилось чередование посадочных мест, т. е. первый сеянец высаживался в дно борозды, подготовленной плугом ПКЛ-70, следующий – в боковую часть отвала, затем – в отвал и т. д.

Вместе с этим были обследованы культуры, заложенные по полосам, подготовленным корчевателем-собирателем Д-210В, а также по дну борозд, проложенных плугом ПЛП-135 (табл. 1).

Таблица 1

**Рост 9- и 20-летних культур кедр сибирского в южном лесном районе  
в зависимости от способа подготовки почвы**

Способ подготовки почвы, орудие	Место посадки	Высота культур, см	Процент к контролю	Прирост в высоту, см/год		Верхний ярус древостоя		
				текущий	средний	Состав, ед.	Высота, м	Полнота, ед.
<i>9-летние культуры</i>								
Бороздами, ПКЛ-70	В дно борозды	52,8±3,3	100,0	6,5±0,3	5,9	100с	5,0	0,70
	В боковую часть отвала	69,3±3,4	131,2	9,7±0,5	7,7	100с	5,0	0,70
	В отвал	137,7±11,2	260,8	19,0±0,9	15,3	100с	5,0	0,70
<i>20-летние культуры</i>								
Бороздами, ПКЛ-70	В дно борозды	123,7±3,2	100,0	9,2±0,4	6,2	90с1Б	12,5	0,74
Бороздами, ПЛП-135	В дно борозды	136,8±4,0	110,6	8,2±0,4	7,2	100с	11,0	1,10
Полосами, Д-210В	По полосам	209,7±4,3	169,5	19,4±0,7	10,5	6Б30с1С	9,5	0,74

Примечание. Контроль – вариант «в дно борозды».



Данные обследования показали, что через 9 лет культуры, созданные сеянцами, в отвалах имели высоту в 2,6 раза больше, чем посаженные по дну борозды. Их текущий прирост в высоту за последние 3 года превышал сравнимый вариант в 2,9 раза. Аналогичные результаты были получены в Латвии на примере ели, которая имела бóльшие темпы роста на отвалах по сравнению с размещением в борозде [12]. Культуры, созданные сеянцами, высаженными в боковую часть отвала, занимали промежуточное положение. Хороший рост имели культуры кедра сибирского в полосах. Преимущества полосной подготовки проявляются даже перед скарификацией [19], особенно в более богатых типах условий местопроизрастания, где данный вид подготовки почвы снижает конкуренцию высаженного посадочного материала с живым напочвенным покровом. Проявилась очевидная закономерность – чем ниже посадочное место по отношению к генетическим горизонтам почвы, тем хуже рост культур.

Раскопки корневых систем в культурах, созданных сеянцами, показали, что до тех пор, пока корни не достигают перегнойно-аккумулятивного горизонта за пределами борозд, рост в высоту и общее развитие растений замедлены. Когда корни достигают этого горизонта, рост культур в высоту резко усиливается. Если же этого не происходит, то они могут много лет не иметь интенсивного прироста в высоту. При посадке сеянцев у края борозды их корневая система развивается в сторону отвала.

Приживаемость культур кедра сибирского в первые два года высокая (до 90 % и выше), но затем наблюдается большой отпад. Основными причинами гибели сеянцев на лесокультурной площади являются вымокание и заваливание их травой. Борозды от плуга ПКЛ-70 уже на третий год полностью перекрываются травами. Основной отпад культур происходит именно вследствие этого, а также в результате заваливания сеянцев и мелких саженцев травой и опавшей листвой в осенний период. К 15–20 годам сохраняется 30...40 % от первоначального количества.

Сохранность лесных культур, созданных сеянцами и саженцами, зависит от типа леса и, в частности, от состава древостоя, формирующегося естественным путем на участках лесных культур. Наиболее отрицательное влияние на культуры кедра оказывает осина. Опавшая листва осины создает вместе с травами плотный слой, который после выпадения снега пригибает молодые растения к земле. Из-за медленной минерализации листьев осины этот слой долго не разлагается, и культуры кедра под ним погибают. Сохранность высаженного посадочного материала при зарастании культур березой повислой выше по сравнению с зарастанием осинкой.

Вырубки в Томской области на свежих и влажных почвах начинают зарастать лиственными породами в первый же год после рубки, а через 4–5 лет после посадки на свежей вырубке сеянцы оказываются под пологом лиственных пород. Даже на тех площадях, где до создания культур процесс облесения из-за сильного задернения протекал медленно, после нарезки борозд по их отвалам и дну происходит обильное возобновление не только лиственных, но иногда и сосны обыкновенной. В итоге на площадях культур кедра формируются естественные насаждения высокой полноты. Прокладка коридоров и рубки ухода, проводимые с выборкой части древостоя (интенсивностью 30...50 %) равномерно по площади или с уборкой части кулис, не дают желаемого результата. Оставленные на корню деревья лиственных пород начинают интенсивно развиваться и через некоторое время восстанавливают высокую

полноту и сомкнутость крон. Например, насаждение на ПП К-4 представлено оставленными при уходе узкими кулисами шириной 1,0...1,2 м с расстоянием между ними 6 м. Хорошее освещение, достаточная площадь питания за пределами кулис и возможность формирования крон в междурядьях исключили интенсивное естественное изреживание древостоя, и число стволов на 1 га оставалось высоким. Соответственно, высока и полнота древостоя – 0,92. Такое же строение имеет насаждение ПП К-18, где проведены реконструкция осинового молодняка коридорами, а в дальнейшем сплошная уборка кулис в каждом третьем междурядье бульдозером. Насаждения ПП К-14 и К-15 сформировались из самосева сосны, появившегося в бороздах и на отвалах после подготовки почвы. Эти древостои по своему строению аналогичны рядовым культурам сосны, созданных посевом, имеют высокую полноту и сомкнутость крон.

Нахождение культур кедр сибирского под пологом лиственных пород приводит к замедлению их роста. Сравнение среднего и текущего приростов в высоту за последние 5 лет показывает, что только при очень высоких полнотах верхнего яруса рост кедр в высоту замедляется настолько, что его текущий прирост снижается до среднего. До полноты 0,6 угнетение кедр невелико, и он развивается удовлетворительно, о чем говорят сравнительно высокие показатели годового прироста. Лучше всего культуры растут при полном освещении. Для изучения этого важного вопроса проведены исследования на участках, где культуры различаются только полнотой верхнего яруса (табл. 2).

Таблица 2

#### Рост культур кедр сибирского в зависимости от полноты верхнего яруса

Верхний ярус		Показатели роста культур		
Полнота, ед.	Состав, ед.	Высота, см	Прирост в высоту, см/год	
			текущий	средний
0,99	10Б, ед. Ос	70,5±1,0	6,5±0,3	6,4
0,89	10Б	103,8±3,9	12,9±0,6	9,4
0,73	10Б, ед. К	113,5±2,9	12,0±0,9	10,3
0,46	9Б1С	129,3±3,4	13,1±0,7	11,8
Отсутствие верхнего яруса		156,9±1,8	20,6±0,5	14,3

Выявлена высокая обратная связь между полнотой древостоя и высотой культур кедр (коэффициент корреляции 0,89).

Опыт по полному освобождению культур кедр от полога осины показал большую эффективность этого мероприятия (рис. 1).

Для опыта были выбраны культуры кедр, посаженные в 1968 г. 3-летними сеянцами в дно борозд, нарезанных плугом ПЛП-135. Первое осветление интенсивностью 50 % проведено на пятый год после посадки путем сплошной вырубki осины через междурядье. Осина к этому времени имела высоту 2 м. В результате рост культур кедр в высоту увеличился и продолжался на повышенном уровне в течение 5 лет. Затем лиственный ярус восстановил свою сомкнутость, и культуры вновь попали в неблагоприятные условия роста. Второй прием осветления проведен в 1981 г., когда был полностью убран лиственный ярус, достигший к этому времени высоты 8 м и полноты 0,8.

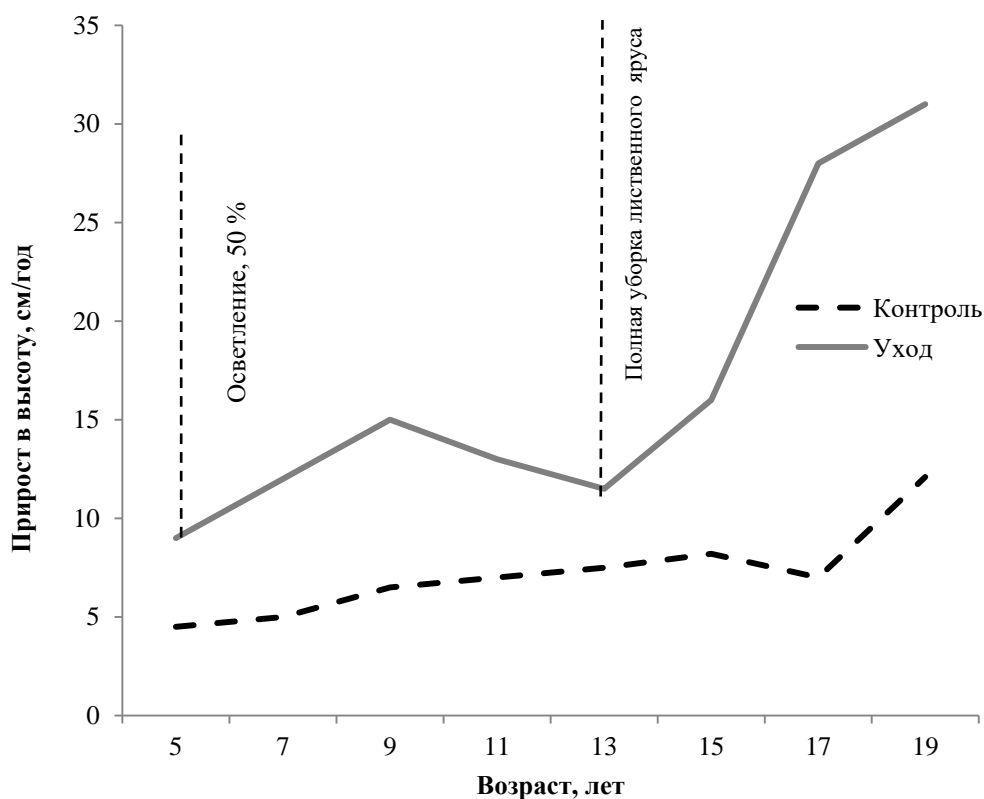


Рис. 1. Изменение текущего прироста в высоту культур кедров сибирского в результате полной уборки верхнего яруса

Fig. 1. Change in apical growth of Siberian pine crops as a result of overstorey cleanout

Сплошная уборка листового яруса через 10 лет после первого ухода способствовала резкому усилению роста кедров. Повышение интенсивности роста произошло без замедления после рубки. В результате двух осветлений высота культур кедров стала более чем в 2 раза превышать контрольные (без ухода) экземпляры (рис. 2).

Таким образом, освобождение культур кедров из-под полога листовых пород с лесоводственной точки зрения крайне необходимо. С экологической же оно тоже обоснованно, поскольку на примере сосны белой (*Pinus albicaulis*) – аналогичного древесного вида с североамериканского континента, показано, что лучший рост посадок наблюдается при полном солнечном освещении [13]. Практически все культуры кедров сибирского в Томской области требуют осветления с уборкой от 10 до 120 м<sup>3</sup>/га древесины листовых пород. Сплошная уборка листовых оказывает положительное влияние и на почву.

Характерной особенностью культур кедров в среднем лесном районе является наличие на их площадях естественного возобновления хвойных пород, которых может быть более 3,5 тыс. шт./га. Листовые здесь также формируют высокополнотные древостои, и культуры кедров обычно находятся под их пологом (табл. 3).

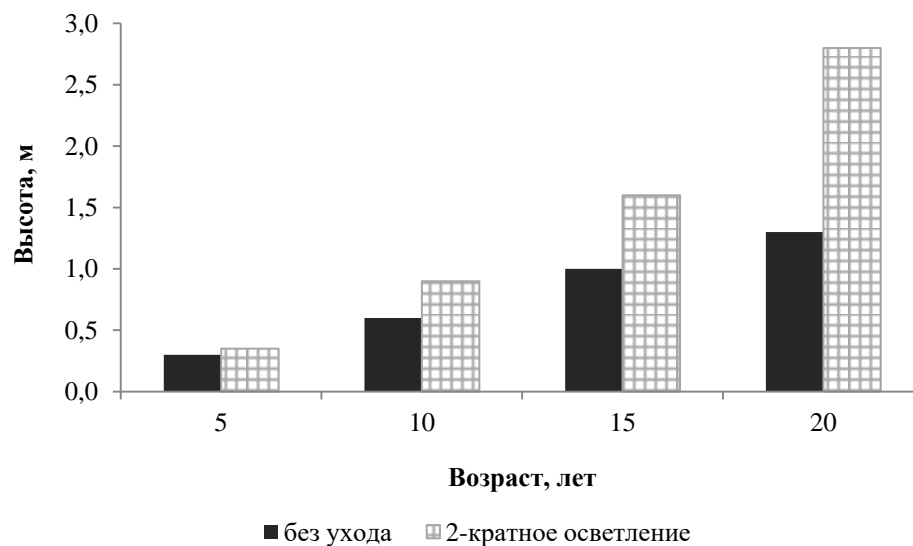


Рис. 2. Ход роста в высоту культур кедров сибирского под влиянием рубок ухода

Fig. 2. Yield of Siberian pine crops in height influenced by improvement thinning

Таблица 3

**Характеристика естественного возобновления на участках лесных культур кедров сибирского в среднем лесном районе**

№ ПП	Давность рубки, лет	Состав, ед.	Высота, м	Полнота, ед.	Густота, тыс. шт./га			Показатели роста культур	
					все-го	в том числе хвойных	из них кедров сибирского	Высота, см	Текущий прирост в высоту, см
К-27	7	9Ос1Б	3,1	1,0	12,5	0,6	0,30	23,0±0,4	3,1±0,2
К-29	7	6Ос3Б1С	2,4	0,8	9,9	1,0	0,17	34,6±2,4	3,6±0,2
К-30	7	5Ос2Б3С	3,3	1,0	12,2	3,6	0,04	6,0±0,1	2,4±0,2
К-31	7	10Б	2,3	1,0	16,7	0,4	0,38	20,9±2,0	3,6±0,2
К-32	7	7Б3К	3,0	0,3	2,9	1,2	0,90	46,0±4,0	5,2±0,5
К-33	7	7Ос3Б	2,5	0,7	8,6	–	–	–	–
К-26	12	6Б4Ос	5,7	0,6	7,5	0,9	0,32	137±11,6	11,4±0,4
К-28	30	6Б2Ос2С	13,0	0,7	1,6	0,7	–	–	–

В среднем лесном районе ход роста культур в высоту и по диаметру характеризуется тем, что в целом они растут хуже, чем в южном лесном районе: высота одновозрастных культур и их текущий прирост в высоту меньше, чем на юге.

Учитывая однородность участков лесокультурного фонда (погрузочные площадки вырубков в кедровниках мелкотравно-зеленомошных), одинаковую направленность лесовосстановительного процесса, однотипность почв (подзолисто-поверхностно-глеевые) и возраст посадочного материала (2-летние сеянцы), представляется возможным сравнить культуры по высоте в зависимости от способа подготовки почвы (рис. 3).

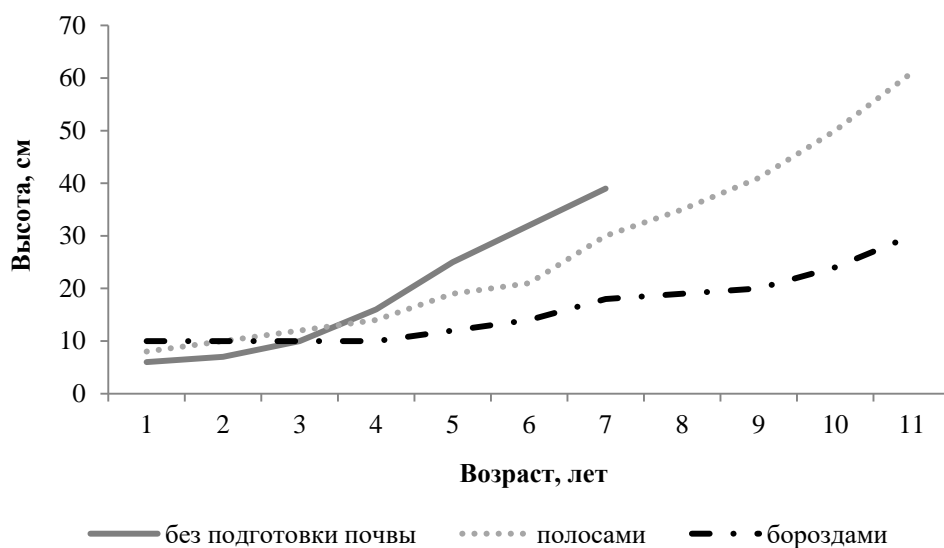


Рис. 3. Рост культур кедр сибирского в высоту в зависимости от способа подготовки почвы

Fig. 3. Height growth of Siberian pine crops depending on the soil preparation method

Лучшие результаты получены при посадке семян без специальных работ при подготовке почвы по сплошь минерализованной поверхности на погрузочных площадках. Здесь дифференциация культур, созданных сеянцами, по высоте меньше, чем в других случаях. Худший рост имеют культуры, посаженные по дну борозд. Сеянцы, высаженные в культурах на полосах, занимают промежуточное положение. При этом если в первые 3 года высота культур была примерно одинакова, то по окончании периода приживаемости она начинает различаться. У сеянцев, высаженных в культурах на полосах и без подготовки почвы, интенсивность роста с возрастом заметно увеличивалась, а у культур, созданных по бороздам, эта тенденция выражена слабее.

Наличие на участках лесных культур естественного возобновления кедр сибирского позволяет установить быстроту роста культур, последующего естественного возобновления и наличие сохранившегося при рубке подроста. Установлено, что между ростом культур и естественным возобновлением кедр в первые годы жизни разницы нет. В дальнейшем культуры растут более энергично, что объясняется лучшим температурным режимом почвы под ними в результате уборки мохового покрова. Аналогичный результат был получен на примере ели черной (*Picea mariana*) в лесах Канады, где за 25-летний период эксперимента искусственные посадки показали лучший рост по сравнению с подростом предварительной генерации и самосевом по скарифицированной дисками (минерализованной) почве [17]. Хотя в первые 3 года культуры, как правило, не имеют отличий в росте или даже отстают [20]. Но после периода приживаемости темпы роста значительно увеличиваются.

Из-за большого отпада сеянцев культуры не обеспечивают формирования в будущем сомкнутого древостоя главной породы. Как показало картирование на ПП К-26, оставшиеся экземпляры неравномерно распределены по площади и так же, как и естественное возобновление, имеют контагиозное размещение. В культурах повысился коэффициент встречаемости кедр с 37 % у естественного возобновления до 65 % при УП в 25 м<sup>2</sup>, но эти показатели

оказались хуже, чем на вырубках, где сохранен подрост хвойных пород и не проводилось искусственное лесовосстановление. Здесь показатель встречаемости для кедра равен 95 % для УП такого же размера, а наибольшая площадь «окна», где нет возобновления кедров, составляет 55 м<sup>2</sup>.

Анализ хода роста у культур последующего и предварительного возобновления показывает, что последний способ лесовосстановления предпочтительнее. Через 9 лет после рубки средняя высота экземпляров кедров превышает 1 м, в то время как сеянцы и экземпляры последующего возобновления еще испытывают влияние трав. Экземпляры предварительного возобновления имеют и более высокий текущий прирост в высоту. Если у культур кедров сибирского текущего прирост побега в высоту составляет 8,3±0,5 см/год, а последующего возобновления – 8,4±0,3 см/год, то у подростов – 12,5±0,9 см/год.

#### *Заключение*

Обобщение опыта лесокультурного производства кедров сибирского в южном и среднем лесных районах Томской области показало, что в данных условиях произрастания подготовка почвы бороздами не целесообразна. Уборка перегнойно-аккумулятивного горизонта вызывает задержку роста на 8–10 лет и без того медленно растущей в молодости породы. Посадка сеянцев в дно борозды приводит к их вымоканию и заваливанию травянистой растительностью. В среднем лесном районе возможна, а во многих случаях необходима посадка культур без подготовки почвы. Для закладки культур кедров наиболее приемлемы микроповышения и минерализованные полосы с сохраненным верхним горизонтом почвы. Культуры предпочтительнее закладывать крупномерными саженцами, что позволит при невысоком травяном покрове отказаться от агротехнических уходов. Густота культур может быть небольшой (1,0...1,5 тыс. шт./га), а лесная среда – сохраняться за счет сопутствующих пород.

На вырубках культуры кедров сибирского повсеместно зарастают лиственными породами, задерживающими их развитие на многие годы. Своевременная уборка лиственных способствует интенсивному росту не только культур кедров, но и подростов предварительных генераций, формирование кедровых насаждений из которого более предпочтительно при его достаточном количестве. Рубки ухода высокой интенсивности в культурах кедров сибирского вплоть до полной уборки лиственного яруса являются важнейшим и крайне необходимым лесохозяйственным мероприятием по восстановлению кедровых лесов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Косицын В.Н.* Оценка состояния лесных культур кедров при государственной инвентаризации лесов // Лесная таксация и лесоустройство. 2014. № 1(51). С. 65–68.
2. *Красильников П.К.* Методика полевого изучения подземных частей растений: моногр. Л.: Наука, 1983. 207 с.
3. *Лоскутов Р.И.* Искусственное восстановление кедров сибирского: моногр. М.: Лесн. пром-сть, 1971. 105 с.
4. *Медведева А.А.* Особенности искусственного лесовосстановления на Причлымском плато: дис. ... канд. с.-х. наук. Л., 1975. 180 с.
5. *Новосельцева А.И.* За дальнейшее развитие лесовосстановительных работ в многолесных районах европейской части СССР // Лесн. хоз-во. 1972. № 2. С. 15–17.

6. Об утверждении Перечня лесорастительных зон Российской Федерации и Перечня лесных районов Российской Федерации: приказ М-ва природ. ресурсов и экологии Российской Федерации от 18.08.2014 № 367. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/420224339> (дата обращения: 11.11.2018).

7. *Огиевский В.В.* Искусственное лесоразведение в Сибири. М.: Гослесбуиздат, 1962. 176 с.

8. *Огиевский В.В., Хиров А.А.* Обследование и исследование лесных культур. Л.: Изд-во ЛТА, 1967. 52 с.

9. *Терехов Г.Г., Усольцев В.А., Луганский Н.А., Колтунова А.И.* Состояние и рост культур кедр сибирского в подзоне южной тайги Среднего Урала // Изв. Оренбург. гос. аграр. ун-та. 2015. № 2(52). С. 13–16.

10. *Федорович Э.С.* Воспроизводство лесов в южнотаежной зоне Новосибирской области // Проблемы лесовосстановления в таежной зоне СССР: тез. докл. Всесоюз. конф., Красноярск, 13–15 сент. 1988 г. Красноярск: Ин-т леса и древесины им. В.Н. Сукачева, 1988. С. 234–235.

11. *Aleksandrowicz-Trzcńska M., Drozdowski S., Wolczyk Z., Bielak K., Żybura H.* Effects of Reforestation and Site Preparation Methods on Early Growth and Survival of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) in South-Eastern Poland // Forests. 2017. Vol. 8, iss. 11. Pp. 1–17. DOI: 10.3390/f8110421

12. *Dzerina B., Girdziusas S., Lazdina D., Lazdins A., Jansons J., Neimane U., Jansons Ā.* Influence of Spot Mounding on Height Growth and Tending of Norway Spruce: Case Study in Latvia // Forestry Studies. 2016. Vol. 65. Pp. 24–33. DOI: 10.1515/fsmu-2016-0009

13. *Gelderman M.S., Macdonald S.E., Gould A.J.* Regeneration Niche of Whitebark Pine in the Canadian Rocky Mountains: The Basis to Restoring an Endangered Species // Arctic, Antarctic, and Alpine Research. 2016. Vol. 48, no. 2. Pp. 279–292. DOI: 10.1657/AAAR0015-057

14. *Guldin J.M.* Silvicultural Options in Forests of the Southern United States under Changing Climatic Conditions // New Forests. 2019. Vol. 50, iss. 1. Pp. 71–87. DOI: 10.1007/s11056-018-9656-2

15. *Mallik A., Kravchenko D.* Black Spruce (*Picea mariana*) Restoration in Kalmia Heath by Scarification and Microsite Mulching // Forest Ecology and Management. 2016. Vol. 362. Pp. 10–19. DOI: 10.1016/j.foreco.2015.10.020

16. *Mc Carthy R., Rytter L., Hjelm K.* Effects of Soil Preparation Methods and Plant Types on the Establishment of Poplars on Forest Land // Annals of Forest Science. 2017. Vol. 74, iss. 2. Pp. 1–12. DOI: 10.1007/s13595-017-0647-9

17. *Prévost M., Dumais D.* Long-Term Growth Response of Black Spruce Advance Regeneration (Layers), Natural Seedlings and Planted Seedlings to Scarification: 25th Year Update // Scandinavian Journal of Forest Research. 2018. Vol. 33, iss. 6. Pp. 583–593. DOI: 10.1080/02827581.2018.1430250

18. *Sewerniak P., Stelter P., Bednarek R.* Effect of Site Preparation Method on Dynamics of Soil Water Conditions on Inland Dunes of the Toruń Basin // Sylwan. 2017. Vol. 161(1). Pp. 52–61.

19. *Thiffault N.* Short-Term Effects of Organic Matter Scalping on the Growth and Nutrition of Black Spruce and Jack Pine Seedlings Planted in the Boreal Forest // The Forestry Chronicle. 2016. Vol. 92, no. 2. Pp. 221–231. DOI: 10.5558/tfc2016-041

20. *Thiffault N., Hébert F.* Mechanical Site Preparation and Nurse Plant Facilitation for the Restoration of Subarctic Forest Ecosystems // Canadian Journal of Forest Research. 2017. Vol. 47(7). Pp. 926–934. DOI: 10.1139/cjfr-2016-0448

UDC 630\*228.7:582.475.4(571.16)

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.9

### Artificial Reforestation of Siberian Pine Forests in Tomsk Region

*N.M. Debkov*<sup>1,2</sup>, Candidate of Agricultural Sciences, Scientific Researcher

*V.S. Panevin*<sup>3</sup>, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

<sup>1</sup>Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, prosp. Akademicheskiiy, 10/3, Tomsk, 634055, Russian Federation; e-mail: nikitadebkov@yandex.ru

<sup>2</sup>All-Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry, ul. Institutskaya, 15, Pushkino, Moscow Region, 141202, Russian Federation

<sup>3</sup>National Research Tomsk State University, pl. Lenina, 36, Tomsk, 634045, Russian Federation; e-mail: panevin\_les@mail.ru

The problem of artificial reforestation is widespread both in the world and Russia. This applies especially to the development of Siberian pine (*Pinus sibirica* Du Tour crops). The article summarizes the experience of artificial regeneration of Siberian pine forests in the southern and middle taiga of Tomsk region. As a research result it has been established that predominant soil preparation by furrows in the logging areas with the help of a bottom plow is inappropriate; since herewith the topsoil is removed, which causes a delay in Siberian pine growth for 8–10 years. It was revealed that the planting of Siberian pine into the furrow bottom leads to its rotting and covering up with herbaceous vegetation. In the middle taiga it is possible to plant crops without soil preparation; in many scenarios it is essential. The most appropriate aids of laying out Siberian pine crops are microhills and fire lines with preserved topsoil. It is preferable to plant forest crops with large-sized planters, which will make it possible to refuse from agrotechnical tending in case of low grass cover. The density of crops can be small (1.2–1.5 thousand pcs/ha); and, moreover, the forest environment is preserved due to the associated species. Siberian pine crops in the logging areas are overgrown throughout with hardwood species, which delay their development for many years. High intensity improvement thinning of Siberian pine crops up to the cleanout of deciduous layer is the most important and extremely necessary forest management measure for reforestation of Siberian pine forests.

**For citation:** Debkov N.M., Panevin V.S. Artificial Reforestation of Siberian Pine Forests in Tomsk Region. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2019, no. 2, pp. 9–21. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.9

**Keywords:** Siberian pine (*Pinus sibirica* Du Tour), forest crops, southern taiga, middle taiga, Tomsk region, optimization of forest regeneration.

### REFERENCES

1. Kositsyn V.N. Status Assessment of Cedar Forest Crops in National Forest Inventory. *Lesnaya taksatsiya i lesoustroystvo* [Forest Valuation], 2014, no. 1(51), pp. 65–68.
2. Krasil'nikov P.K. *Methodology for Field Study of Underground Stems of Plants*: Monography. Leningrad, Nauka Publ., 1983. 207 p.
3. Loskutov R.I. *Artificial Reforestation of Siberian Cedar*. Moscow, Lesnaya Promyshlennost' Publ., 1971. 105 p.
4. Medvedeva A.A. *Features of Artificial Reforestation on the Prichulymskoye Plateau*: Cand. Agric. Sci. Diss. Leningrad, 1975. 180 p.
5. Novosel'tseva A.I. For the Further Development of Reforestation in Heavily Forested Areas of the European Part of the USSR. *Lesnoye khozyaystvo*, 1972, no. 2, pp. 15–17.



6. On Approval of the List of Forest Plant Zones of the Russian Federation and the List of Forest Regions of the Russian Federation: Order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation no. 367 on August 12, 2014. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/420224339> (accessed 11.11.18).

7. Ogiyevskiy V.V. *Artificial Afforestation in Siberia*. Moscow, Goslesbumizdat Publ., 1962. 176 p.

8. Ogiyevskiy V.V., Khirov A.A. *Inspection and Study of Forest Crops*. Leningrad, LTA Publ., 1967. 52 p.

9. Terekhov G.G., Usol'tsev V.A., Luganskiy N.A., Koltunova A.I. Status and Growth of Siberian Cedar Tree Crops in the South Taiga Subzone of Middle Urals. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2015, no. 2(52), pp. 13–16.

10. Fedorovich E.S. Forest Reproduction in Southern Taiga of Novosibirsk Region. *Issues of Taiga Reforestation in the USSR*. Abstracts of the All-Union Conference, Krasnoyarsk, September 13–15, 1988. Krasnoyarsk, Institut lesa i drevesiny imeni V.N. Sukacheva Publ., 1988, pp. 234–235.

11. Aleksandrowicz-Trzcńska M., Drozdowski S., Wołczyk Z., Bielak K., Żybura H. Effects of Reforestation and Site Preparation Methods on Early Growth and Survival of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) in South-Eastern Poland. *Forests*, 2017, vol. 8, iss. 11, pp. 1–17. DOI: 10.3390/f8110421

12. Dzerina B., Girdziusas S., Lazdina D., Lazdins A., Jansons J., Neimane U., Jansons Ā. Influence of Spot Mounding on Height Growth and Tending of Norway Spruce: Case Study in Latvia. *Forestry Studies*, 2016, vol. 65, pp. 24–33. DOI: 10.1515/fsmu-2016-0009

13. Gelderman M.S., Macdonald S.E., Gould A.J. Regeneration Niche of Whitebark Pine in the Canadian Rocky Mountains: The Basis to Restoring an Endangered Species. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*, 2016, vol. 48, no. 2, pp. 279–292. DOI: 10.1657/AAAR0015-057

14. Guldin J.M. Silvicultural Options in Forests of the Southern United States under Changing Climatic Conditions. *New Forests*, 2019, vol. 50, iss. 1, pp. 71–87. DOI: 10.1007/s11056-018-9656-2

15. Mallik A., Kravchenko D. Black Spruce (*Picea mariana*) Restoration in Kalmia Heath by Scarification and Microsite Mulching. *Forest Ecology and Management*, 2016, vol. 362, pp. 10–19. DOI: 10.1016/j.foreco.2015.10.020

16. Mc Carthy R., Rytter L., Hjelm K. Effects of Soil Preparation Methods and Plant Types on the Establishment of Poplars on Forest Land. *Annals of Forest Science*, 2017, vol. 74, iss. 2, pp. 1–12. DOI: 10.1007/s13595-017-0647-9

17. Prévost M., Dumais D. Long-Term Growth Response of Black Spruce Advance Regeneration (Layers), Natural Seedlings and Planted Seedlings to Scarification: 25th Year Update. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2018, vol. 33, iss. 6, pp. 583–593. DOI: 10.1080/02827581.2018.1430250

18. Sewerniak P., Stelter P., Bednarek R. Effect of Site Preparation Method on Dynamics of Soil Water Conditions on Inland Dunes of the Toruń Basin. *Sylwan*, 2017, vol. 161(1), pp. 52–61.

19. Thiffault N. Short-Term Effects of Organic Matter Scalping on the Growth and Nutrition of Black Spruce and Jack Pine Seedlings Planted in the Boreal Forest. *The Forestry Chronicle*, 2016, vol. 92, no. 2, pp. 221–231. DOI: 10.5558/tfc2016-041

20. Thiffault N., Hébert F. Mechanical Site Preparation and Nurse Plant Facilitation for the Restoration of Subarctic Forest Ecosystems. *Canadian Journal of Forest Research*, 2017, vol. 47(7), pp. 926–934. DOI: 10.1139/cjfr-2016-0448

Received on September 03, 2018

УДК 630\*228:630\*24

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.22

## ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА ЕЛОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЛЕСНЫХ ПЛАНТАЦИЙ ЛЕСОВОДСТВЕННЫМИ МЕТОДАМИ В ЮЖНО-ТАЕЖНОМ РАЙОНЕ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

*А.И. Чудецкий, аспирант, вед. инж.*

*С.С. Багаев, канд. с.-х. наук, рук. группы лесоводства*

Центрально-европейская лесная опытная станция, просп. Мира, д. 134, г. Кострома, Россия, 156013; e-mail: a.chudetsky@mail.ru, ce-los-lh@mail.ru

В статье приведены результаты исследований по оценке потенциала насаждений ели различного происхождения для создания лесоводственными методами лесных плантаций, предназначенных для получения целевых сортиментов в условиях южно-таежного района европейской части России. Проанализированы насаждения с участием ели разного возраста естественного и искусственного происхождения с учетом особенностей лесорастительных условий произрастания в юго-западной части Костромской области. В древостоях ели искусственного происхождения без рубок ухода или с проведением рубок интенсивностью до 20 % в возрасте от 20 до 40 лет доля листовенных пород может достигать до 2–4 единиц. В насаждениях в возрасте от 45 до 60 лет доля участия мягколиственных пород составляет не более 2 единиц. Проведение ухода в культурах ели и в естественных насаждениях из мягколиственных пород, сформировавшихся на месте бывших вырубок с жизнеспособным подростом, позволит сформировать чистые и смешанные насаждения ускоренного выращивания. Выделены типы насаждений, наиболее перспективные для формирования рубками ухода плантаций с ускоренным выращиванием целевых сортиментов из ели в лесорастительных условиях южно-таежного лесного района европейской части России. Проведена оценка потенциала формирования лесных плантаций в различных лесорастительных условиях произрастания темнохвойных лесов на основе сортиментной структуры древостоев на пробных площадях. Ельники искусственного происхождения по сравнению с еловыми древостоями естественного происхождения имеют больший объем деловой древесины, включая пиловочник. Выход целевых сортиментов в естественных древостоях уменьшается с увеличением возраста древостоя. В связи с ограниченным количеством подростка ели под пологом насаждений и существенной долей естественного возобновления листовенных пород желателен проводить рубки ухода (преимущественно в кисличной группе типов леса). Созданные ранее условно-плантационные культуры ели нуждаются в интенсивных разреживаниях.

*Для цитирования:* Чудецкий А.И., Багаев С.С. Оценка потенциала еловых насаждений для создания лесных плантаций лесоводственными методами в южно-таежном районе европейской части России // Лесн. журн. 2019. № 2. С. 22–31. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.22

*Ключевые слова:* лесные плантации, лесоводственные методы, ель, происхождение, рубки ухода, целевые сортименты, пиловочник, балансы.

### *Введение*

В связи с истощением лесосырьевой базы и развитием лесной промышленности требуются новые методы и технологии ведения лесного хозяйства, особенно на территориях с концентрацией мощностей по переработке древесины и значительной транспортной доступностью лесных ресурсов. Проведение лесохозяйственных мероприятий по традиционным схемам и создание

новых культур ускоренного выращивания не позволят решить проблему по обеспечению лесоперерабатывающих предприятий сырьем в ближайшие десятилетия, а лишь отодвинут минимум на 50-летний период [4, 15].

Анализ результатов исследований по ускоренному выращиванию ельников для условий южной тайги европейской части России показывает возможность создания высокопродуктивных чистых и смешанных насаждений ели как из уже существующих культур методами рубок ухода, так и при проведении рубок в мягколиственных насаждениях с сохранением елового подроста [1, 8, 9]. В этом случае наблюдается значительное сокращение сроков выращивания необходимых сортиментов более чем на 20 лет.

На сегодняшний день актуальной задачей является поиск механизмов, позволяющих осуществить интенсификацию лесного хозяйства и фактически получить большой объем древесины с определенной площади за единицу времени, не нарушая экологического равновесия. К тому же во всем мире возрастает интерес к разработке новой стратегии управления лесами, направленной на их ускоренное выращивание с последующим формированием определенных характеристик насаждений, включая более сложную структуру и биоразнообразие. Такие леса смогут предоставлять более широкий спектр экосистемных услуг, чем обычные плантационные культуры [10–14, 16, 17]. Создание лесных плантаций ели лесоводственными методами для получения определенных видов сортиментов отвечает именно этим целям и задачам.

Цель работы – определение типа лесных насаждений в различных типах лесорастительных условий (ТЛУ), пригодных для создания лесных плантаций ели рубками ухода с ускоренным получением целевых сортиментов (пиловочника и балансов) в условиях южно-таежного района европейской части России.

#### *Объекты и методы исследования*

Исследования проводились в 2015–2017 гг. в юго-западной части Костромской области на территории Костромского, Красносельского, Островского и Судиславского муниципальных районов. Территория относится к южно-таежному району европейской части России, находится на южных краевых частях Галичско-Чухломской возвышенности со сглаженным рельефом. Полевые исследования были сосредоточены в еловой и сосновой формациях лесов, в благоприятных условиях произрастания для темнохвойных и светлохвойных пород.

В качестве потенциальных объектов для формирования лесных насаждений с ускоренным выращиванием на целевые сортименты определены насаждения ели различного возраста как естественного, так и искусственного происхождения, в различных лесорастительных условиях и с разной долей участия ели. Учитывалось наличие проведенных ранее лесоводственных мероприятий.

В экспериментах использовались методы сплошного или выборочного перечета [5]. Заложено 36 постоянных пробных площадей (ППП) общей площадью около 10 га в молодых, средневозрастных, приспевающих и спелых насаждениях с участием ели искусственного и естественного происхождения, относящихся к кисличной и черничной группам типов леса.

Определение таксационных характеристик насаждений, связанных с категорией жизнеспособности и условиями роста деревьев, а также состоянием подроста, возобновления и подлеска, а также оценка почвенно-гидрологических условий осуществлялись по методике комплексного изучения лесных насаждений, разработанной ВНИИЛМ [6]. При получении лесоводственно-таксационных

показателей использовались таблицы хода роста насаждений, таблицы объемов и площадей поперечных сечений деревьев [3]. Сортиментная характеристика насаждений рассчитывалась на основе таксационных показателей насаждений (количество деревьев на 1 га, средняя высота и ступень толщины) с использованием региональных таблиц, разработанных Костромским технологическим институтом по основным лесообразующим породам Костромской области [7]. Статистическая обработка данных проводилась с помощью программного пакета Microsoft Office 2010.

#### *Результаты исследования и их обсуждение*

На основе полученных характеристик и результатов их обработки выделены следующие группы и подгруппы насаждений:

1. Насаждения искусственного происхождения:

- чистые культуры ели;
- культуры ели с примесью лиственных пород;
- смешанные культуры ели и сосны;

2. Насаждения естественного происхождения:

- чистые насаждения ели и с примесью лиственных до 2 единиц;
- елово-лиственные насаждения с преобладанием ели;
- березовые насаждения на суглинках с подростом ели;
- смешанные насаждения ели и сосны с преобладанием ели на суглинках.

Значительная часть ППП (76,3 %), заложенных в молодых, средневозрастных, приспевающих и спелых насаждениях искусственного и естественного происхождения с участием ели, находится в кисличной группе типов леса, остальная (23,7 %) – в черничной группе типов леса.

Характеристика елового возобновления в насаждениях с участием ели различного происхождения приведена в табл. 1 и 2.

Результаты экспериментальных исследований показали, что под пологом ельников естественного происхождения, преимущественно в кисличной группе типов леса, возобновление темнохвойных пород протекает слабо. Подрост ели с преобладающей высотой 0,5 м распределен куртинами, его численность незначительна (от 390 до 475 шт./га). Лишь на ППП № 28 и 31 подрост ели лучше (3420 и 2650 шт./га соответственно), его средняя высота – 1,0 м. На одной из ППП (№ 30) отмечено хорошее возобновление ели высотой до 0,2 м (9575 шт./га). Наиболее оптимальными мероприятиями, ранее проведенными в данной группе насаждений в целях формирования насаждений для ускоренного выращивания сортиментов, являются рубки ухода с удалением представителей лиственных пород. Под пологом лесных культур ели (как высоко-, так и среднеполнотных) в кисличной и черничной группах типов леса количество подроста ели также ограничено – от 35 (ППП № 11) до 2900 шт./га (ППП № 25), либо он отсутствует (ППП № 2, 6–9, 15–17). Доля естественного возобновления березы, осины, ольхи серой в средневозрастных насаждениях – 5–10 единиц, в молодых – 4–9 единиц.

Средняя категория жизнеспособности древостоя по группе насаждений искусственного происхождения составляет 4,25, для 1-го яруса насаждений естественного происхождения – 4,60, что указывает на угнетение ели в древостое. Наименьшее количество здоровых стволов ели в 1-м ярусе выявлено на четырех участках в кисличной и черничной группах типов леса в высокополнотных чистых (ППП № 4, 17) и среднеполнотных культурах с примесью

Таблица 1

## Характеристика возобновления ели на пробных площадях в еловых насаждениях искусственного происхождения

Доля участка ели в составе древостоя	№ ППП	Характеристика древостоя			Характеристика возобновления и подроста			Тип леса, ТЛУ	
		Состав	Возраст, лет	Полнота	Состав	Порода	Средняя высота, м		Количество, шт./га
10Е	1	10Е	19	0,7	9Е10с+Б	Е	0,8	1265	Е кис., С2
	2	10Е	31	0,8	8Б10с1Ивд	Е	Возобновление или отсутствует		Е кис., С2
	3	10Е	33	0,6	7Е30с	Е	0,6	575	Е чер., В3
	4	10Е+С	41	0,9	6Е3Ивд1Б+Олс	Е	0,4	225	Е кис., С3
	5	10Е	43	0,8	5Б4Е10с+С	Е	0,2	300	Е чер., В3
	6	10Е	49	1,0		Е	Возобновление отсутствует		Е кис., С3
	7	10Е+Б	51	0,8		Е	Возобновление отсутствует		Е кис., С3
	8	10Е	51	0,8	6Олс40с	Е	Возобновление или отсутствует		Е чер., В3
	9	10Е	54	0,6		Е	Возобновление отсутствует		Е кис., В3
	10	10Е	55	0,8	10Е+Ос	Е	0,2	500	Е кис., С3
	11	9Е1Б ед. Ос	44	0,8	7Олс30с+Е	Е	1,0	35	Е кис., С3
	12	9Е1Б+Олс ед. Ос	46	0,6	6Е20с20лс	Е	0,4	115	Е кис., С3
	13	8Е2С	21	1,0	6Е4Б	Е	0,6	425	Е кис., С3
	14	8Е1Б1Ивд+Ос	23	0,7	9Е10с	Е	0,6	400	Е кис., С3
	15	8Е2Б	26	0,7	9Б1Е+Ос ед. С	Е	1,4	100	Е чер., В3
	16	8Е10с1Ивд+С+Б	27	0,9		Е	Возобновление отсутствует		Е кис., С3
	17	8Е2Б+Ос+Олс	38	0,9		Е	Возобновление отсутствует		Е чер., С3
	18	7Е2Ивд1Б+Ос	27	0,8		Е	Возобновление отсутствует		Е кис., С3
	19	7Е11Б+С	49	0,6	4Е6Б	Е	0,5	40	Е кис., С3
5Е	5Е20с2Ивд1Б	25	0,8	4Е3Ивд20с1Б ед. С	Е	1,7	575	Е кис., С3	
3Е	3Е50с2Б+С+Ивд	21	0,9	50с3Б1Е1Ивд+С	Е	1,8	675	Е кис., С3	
3Е	5С3Е2Б	23	0,8	8Е1Б10с+С	Е	0,7	3700	Е кис., С3	
2Е	7С2Е1Б	23	0,8	5Е3Б20с+С	Е	0,5	1825	Е кис., С3	
1Е	5С4Б1Е ед. Ос	23	0,8	6Б3Е1С+Ос	Е	0,4	950	Е кис., С3	

Примечание. ППП № 2, 16, 18, 20 – условно-плантационные культуры ели.

Таблица 2

## Характеристика возобновления ели на пробных площадях в насаждениях с участием ели естественного происхождения

Доля участия ели в составе древостоя	№ ППП	Характеристика древостоя				Характеристика возобновления и подроста				Тип леса, ТЛУ
		Состав		Возраст, лет	Полнота	Состав подроста	Порода	Средняя высота, м	Количество, шт./га	
		1-й ярус	2-й ярус							
9Е	25	9Е1Ос+С+Б	10Е+Ивд	40	0,9	10Е+Б	Е	0,4	2900	Е кис., С3
8Е	26	8Е1БИИвд+Ос	10Е	50	0,8	10Е	Е	0,5	390	Е кис., С3
–	27	8Е2Б+С+Ос	10Е	60	0,7	5Е4Олс1Б+Ос	Е	0,7	1650	Е чер., С3
–	28	8Е1Б1Ос+С	–	80	0,6	10Е ед. Ос	Е	1,1	2650	Е кис., С3
<i>Елово-лиственные насаждения с преобладанием ели</i>										
7Е	29	7Е3Б ед.Ос	9Е1Ивд	50	0,8	9Е1Б	Е	0,5	475	Е кис., С3
6Е	30	6Е3Ос1Б	6Е2Олс2Ивд+Б	55	0,7	9Е1Ос+Б+Олс	Е	0,4	9575	Е кис., С3
<i>Березовые насаждения на сузгинках с подростом ели</i>										
3Е	31	5Б3Е2Ос	10Е	85	0,6	6Ос3Е1Олс	Е	1,0	2420	Е кис., С3
2Е	32	5Б3Ос2Е	10Е	80	0,6	5Ос4Е1Олс+Б	Е	1,8	845	Е кис., С3
<i>Смешанные насаждения ели и сосны на сузгинках с подростом ели</i>										
3Е	33	4С3Е2Б1Ос	10Е	50	0,7	8Олс1Е1Ос+Б	Е	2,1	550	С чер., В3
2Е	34	5С3Б2Е	7Е2С1Б	100	0,5	6Е4Б	Е	0,8	1540	С чер., В3
–	35	8С1Б1Ос	10Е	80	0,6	9Ос1Е	Е	0,3	50	С кис., С2
–	36	6С3Ос1Б	10Е	100	0,5	4Б3Е3Ос+Ивд	Е	2,1	730	С чер., В3

лиственных пород (ППП № 12, 19). Низкие показатели жизнеспособности (средняя категория жизнеспособности – 3,52) отмечены в ельниках естественного происхождения у ели 2-го яруса (ППП № 25, 27, 30, 31). Анализ экспериментальных данных показал, что значительная часть обследованных лесных культур до возраста 40–50 лет в различной степени угнетена мягколиственными породами. При разреживании верхнего полога жизнеспособность подроста улучшается (ППП № 31). Культуры с незначительной примесью мягколиственных пород в этом же возрастном диапазоне (ППП № 19) имеют лучшие по сравнению с естественно сформировавшимися ельниками (ППП № 26) таксационные показатели.

Установлено, что в древостоях ели искусственного происхождения без рубок ухода или с проведением рубок слабой интенсивности (до 20 %) в возрасте 20–40 лет доля лиственных может достигать до 2–4 единиц (ППП № 14, 17, 19, 22, 24). В возрасте 45–60 лет такие насаждения становятся смешанными древостоями (ППП № 29, 30, 33): в их состав входят береза, осина и ольха серая, доля участия которых составляет менее 2 единиц. Более молодые лиственные породы в междурядьях и на прогалинах не являются серьезными конкурентами.

Сортиментная характеристика елового элемента насаждений на пробных площадях с учетом происхождения насаждений и доли участия ели в составе показывает, что максимальный выход пиловочника и балансов выявлен на трех пробных площадях (ППП № 9, 7, 19), заложенных в еловых культурах в возрасте 38–55 лет в кисличной и черничной группах типов леса с количеством стволов соответственно 495, 515 и 1050 шт./га и средним диаметром стволов 29,1; 25,9 и 21,8 см [2]. ППП № 7 и 9 заложены в чистых культурах ели, ППП № 19 – в культурах ели с примесью березы в составе. Их возраст составляет 38, 45 и 49 лет соответственно. С увеличением густоты древостоев уменьшаются средний диаметр ствола и выход сортиментов: 2 единицы березы в составе древостоя на ППП № 19 не помешали достаточно высокому выходу елового пиловочника.

Проведено сравнение показателей одного из участков условно-плантационных культур ели (созданных по технологиям плантационного лесовыращивания, но с отсутствием проведения впоследствии своевременных лесоводственных уходов), расположенных в Костромской области в 1980-х гг. и не достигших 40-летнего возраста (ППП № 2), с одновозрастными – опытно-производственными (ППП № 3) и созданными по традиционной технологии культурами ели (ППП № 17). Проведенные нами расчеты выхода из деловых стволов объемов деловой древесины показали, что в условно-плантационных культурах с наибольшей густотой стволов в 31-летнем возрасте можно получить лишь мелкую деловую древесину, тогда как на других участках – также и древесину средних объемов (табл. 3).

Таблица 3

**Таксационные показатели средневозрастных еловых древостоев искусственного происхождения и выход из деловых стволов средней и мелкой древесины**

№ ППП	Порода	Возраст, лет	Количество стволов, шт./га	Состав	Полнота	Запас растущей части, м <sup>3</sup> /га	Средние		Выход древесины из деловых стволов, м <sup>3</sup> /га	
							диаметр, см	высота, м	средней	мелкой
2	Е	31	3275	10Е	0,8	140	10,3	13,0	–	163,7
3	Е	33	2375	10Е	0,6	130	15,5	15,0	166,2	213,7
17	Е	38	995	8Е2Б+ Ос+Олс	0,9	240	18,3	17,0	129,5	69,7

В естественных насаждениях в возрасте 50–55 лет (ППП № 26, 29, 30), находящихся в типе лесорастительных условий С3, увеличение примеси лиственных пород до 3–4 единиц в составе способствовало уменьшению выхода сортиментов (пиловочника и балансов). В 80-летних древостоях в том же типе лесорастительных условий эта тенденция сохраняется (табл. 4).

Таблица 4

**Таксационные показатели приспевающих и спелых еловых древостоев  
естественного происхождения и выход из деловых стволов пиловочника и балансов**

№ ППП	Возраст, лет	Количество стволов, шт./га	Состав 1-го яруса древостоя	Полнота	Средние		Запас рас-тущей части, м <sup>3</sup> /га	Выход древесины из деловых стволов, м <sup>3</sup> /га	
					диаметр, см	высота, м		пиловочника	балансов
26	50	610	8Е1Б1Ивд+ Ос	0,8	19,3	15,0	180	67,3	6,1
29	55	535	7ЕЗБ ед.Ос	0,3	20,0	20,2	100	60,0	5,0
30	55	375	6ЕЗОс1Б	0,3	22,0	18,7	375	57,4	0,4
27	60	820	8Е2Б+С+Ос	0,7	18,2	17,0	190	45,3	4,1
28	80	300	8Е1Б1Ос+С	0,6	30,5	22,0	230	91,5	1,5
32	80	175	5БЗОс2Е	0,2	30,5	23,1	40	42,9	–
31	85	265	5БЗЕ2Ос	0,6	27,1	21,6	190	41,7	3,4

Результаты исследований показали, что выход пиловочника и балансов из ели в естественных древостоях ниже, чем в искусственных соответственно на 13,8...56,0 и 6,2...52,0 %.

*Заключение*

Таким образом, к типам насаждений, наиболее подходящим для формирования рубками ухода лесных плантаций для ускоренного выращивания целевых сортиментов из ели в условиях южно-таежного района европейской части России, можно отнести:

чистые культуры ели и с примесью лиственных пород до 2 единиц в кисличной (ТЛУ – С2, С3) и черничной (ТЛУ – В3) группах типов леса;

естественные чистые насаждения ели и с примесью лиственных до 2 единиц в кисличной группе типов леса (ТЛУ – С3);

елово-лиственные насаждения с преобладанием ели в кисличной группе типов леса (ТЛУ – С3);

лиственные насаждения на суглинках с еловым подростом или вторым ярусом из ели в кисличной группе типов леса (ТЛУ – С3).

Устойчивое преобладание средней и крупной деловой древесины над мелкой устанавливается в культурах ели с 40-летнего возраста, в естественных насаждениях – несколько позднее. Ельники искусственного происхождения выгодно отличаются от естественных одновозрастных насаждений качеством древесины, поскольку имеют больший объем как деловой древесины, так и пиловочника. С увеличением возраста выход целевых сортиментов в естественных древостоях уменьшается. Ввиду того, что выход еловых пиловочника и балансов в естественных древостоях ниже, чем в искусственных, существующие культуры ели более пригодны для формирования из них лесных плантаций.

В связи с ограниченным количеством подроста ели под пологом насаждений и существенной долей естественного возобновления лиственных пород желательно проводить рубки ухода в древостоях преимущественно кисличной



группы типов леса. Созданные ранее условно-плантационные культуры ели нуждаются в интенсивных разреживаниях. При определенных режимах рубок ухода возможно улучшение продуктивности ели 2-го яруса или елового подроста под пологом естественных насаждений.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Багаев С.С., Чудецкий А.И. Результаты рубок ухода в лиственно-еловых насаждениях Костромской области // Лесохозяйств. инф. 2018. № 1. С. 5–20. Режим доступа: [http://hi.vniilm.ru/PDF/2018/1/LNI\\_2018\\_01-01-Bagaev.pdf](http://hi.vniilm.ru/PDF/2018/1/LNI_2018_01-01-Bagaev.pdf) (дата обращения: 13.09.18). DOI: 10.24419/LNI.2304-3083.2018.1.01
2. Багаев С.С., Чудецкий А.И., Корнев И.А., Третьяков В.В. Создание лесных плантаций лесоводственными методами в Костромской области // Актуальные проблемы ботаники и охраны природы: сб. науч. ст. Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 150-летию со дня рождения проф. Г.Ф. Морозова (г. Симферополь, 28–30 нояб. 2017 г.) / под ред. С.Ф. Котова. Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2017. С. 223–227.
3. Гусев Н.Н. Справочник лесоустроителя. М.: ВНИИЛМ, 2004. 328 с.
4. Кудряшов П.В. Проблемы плантационного лесопользования // Лесная наука сегодня: сб. ст. М.: ВНИИЛМ, 2009. С. 93–100.
5. ОСТ 56-69-83. Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки. Введ. 1983-05-23. М.: Экология, 1992. 17 с.
6. Программа НИР по теме 3.1/1 «Разработка экологически безопасных и экономически эффективных региональных систем ведения лесного хозяйства и технологий, обеспечивающих повышение продуктивности и устойчивости лесов» / сост. В.И. Желдак. М.: ВНИИЛМ, 2001. 79 с.
7. Сортиментные таблицы для древесных пород, образующих смешанные насаждения Костромской области / сост. В.П. Старостенко, М.А. Груздев. Кострома: КТИ, 1978. 114 с.
8. Тимошенко В.И. Формирование древостоев ели лесоводственными приемами в подзоне южной тайги европейской части России (на примере лесов Костромской области): автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Брянск, 2002. 23 с.
9. Чуенков В.С., Петров В.М., Письмеров А.В. Организация выращивания целевых хвойных древостоев в Европейско-Уральской зоне РСФСР на базе вторичных мягколиственных лесов // Обзор. информ. М.: ЦБНТИ Гослесхоза СССР, 1987. Вып. 4. С. 1–40.
10. Brockerhoff E.G., Jactel H., Parrotta J.A., Quine Ch.P., Sayer J. Plantation Forests and Biodiversity: Oxymoron or Opportunity? // Biodiversity and Conservation. 2008. Vol. 17, iss. 5. Pp. 925–951. DOI: 10.1007/s10531-008-9380-x
11. Deal R.L., Hennon P., O'Hanlon R., D'Amore D. Lessons from Native Spruce Forests in Alaska: Managing Sitka Spruce Plantations Worldwide to Benefit Biodiversity and Ecosystem Services // Forestry. 2014. Vol. 87, iss. 2. Pp. 193–208. DOI: 10.1093/forestry/cpt055
12. Fahy O., Foley N. Biodiversity Opportunities in Plantations Managed for Wood Supply // Opportunities for Biodiversity Enhancement in Plantation Forests Proceedings of the COFORD Seminar, October 24, 2002, Cork / ed. by L. MacLennan. Dublin, 2004. Pp. 1–6.
13. Humphrey J.W. Benefits to Biodiversity from Developing Old-Growth Conditions in British Upland Spruce Plantations: A Review and Recommendations // Forestry. 2005. Vol. 78, iss. 1. Pp. 33–53. DOI: 10.1093/forestry/cpi004
14. Kanninen M. Plantation Forests: Global Perspectives // Ecosystem Goods and Services from Plantation Forests / ed. by J. Bauhus, P. Van der Meer, M. Kanninen. London: Earthscan, 2010. Pp. 1–15. Режим доступа: <https://www.cifor.org/library/3157/> (дата обращения: 13.09.18).
15. Lindgaard K.N., Adams P.W.R., Holley M., Lamley A., Henriksson A., Larsson S., Von Engelbrechten H.-G., Lopez G.E., Pisarek M. Short Rotation Plantations Policy History in Europe: Lessons from the Past and Recommendations for the Future // Food and Energy Security. 2016. Vol. 5, iss. 3. Pp. 125–152. DOI: 10.1002/fes3.86

16. Paquette A., Messier Ch. The Role of Plantations in Managing the World's Forests in the Anthropocene // *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2010. Vol. 8, iss. 1. Pp. 27–34. DOI: 10.1890/080116

17. Von Teuffel K. Future Forest Research in Europe // *Forestry on Treshold of EU – Sixty Years of Work and Development of Forest Institutes in Croatia*. Stubičke toplice, November 24–25, 2005. Stubičke toplice, Croatia, 2005. Pp. 76–88.

Поступила 13.09.18

UDC 630\*228:630\*24

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.22

### **Potential Assessment of Spruce Stands for the Development of Forest Plantations by Silvicultural Methods in the Southern Taiga Region of the European Part of Russia**

*A.I. Chudetsky, Postgraduate Student, Leading Engineer*

*S.S. Bagaev, Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Forestry Group*

Central European Forest Experimental Station, prosp. Mira, 134, Kostroma, 156013, Russian Federation; e-mail: a.chudetsky@mail.ru, ce-los-lh@mail.ru

The article presents the results of studies on the potential assessment of spruce plantations of different origin for the development of forest plantations by silvicultural methods in order to obtain target assortment in the southern taiga region of the European part of Russia. The analysis of spruce plantations of different age and natural and artificial origin, taking into account the features of site conditions in the south-western part of Kostroma region, is given. In spruce stands of artificial origin at the age of 20..40 years without improvement thinning or with thinning intensity up to 20 % the proportion of deciduous species can reach up to 2–4 units. The share of softwood species is not more than 2 units in plantations at the age of 45–60 years. Carrying out tending of spruce crops and natural stands of softwood species formed on the felling site with viable undergrowth will allow the formation of pure and mixed plantations of accelerated cultivation. Types of stands which are the most promising for the formation by improvement thinning of plantations for the advanced growth of spruce target assortment under forest site conditions of the southern taiga forest region of the European part of Russia were selected. The potential assessment of forest plantation formation in different forest site conditions for dark coniferous forest growing was carried out based on the stand assortment structure of trial plots. Spruce forests of artificial origin have a greater volume of industrial wood including sawlog in comparison with spruce forests of natural origin. The yield of target assortment in natural stands decreases with the increase of stand age. It is advisable to carry out improvement thinning (mainly in the sorrel family), due to the limited amount of spruce undergrowth under plantation canopy and the significant share of natural regeneration of hardwood species. The conventional plantation spruce crops, which were created earlier, need intensive thinning.

**For citation:** Chudetsky A.I., Bagaev S.S. Potential Assessment of Spruce Stands for the Development of Forest Plantations by Silvicultural Methods in the Southern Taiga Region of the European Part of Russia. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2019, no. 2, pp. 22–31. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.22

**Keywords:** forest plantations, silvicultural methods, spruce, origin, improvement thinning, target assortment, sawlog, pulpwood.

#### REFERENCES

1. Bagaev S., Chudetsky A. Results of Thinning in the Deciduous-and-Spruce Stands of the Kostroma Region. *Forestry Information*, 2018, no. 1, pp. 5–20. Available at:

[http://lhi.vniilm.ru/PDF/2018/1/LHI\\_2018\\_01-01-Bagaev.pdf](http://lhi.vniilm.ru/PDF/2018/1/LHI_2018_01-01-Bagaev.pdf) (accessed 13.09.18). DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2018.1.01

2. Bagaev S.S., Chudetsky A.I., Korenev I.A., Tretyakov V.V. Creating of Forest Plantations by Silvicultural Methods in Kostroma Region. *Actual Problems of Botany and Nature Protection: Collection of Academic Papers. Int. Sci.-Pract. Conf. Dedicated to the 150th Anniversary from the Date of Birth of Professor G.F. Morozov. Simferopol, November 28–30, 2017.* Simferopol, PP “Arial” LLC Publ., 2017, pp. 223–227.

3. Gusev N.N. *Handbook of a Forest Manager.* Moscow, VNIILM Publ., 2004, 328 p.

4. Kudryashov P.V. Problems of Plantation Forest Management. *Forest Science Today: Collection of Papers.* Moscow, VNIILM Publ., 2009, pp. 93–100.

5. OST 56-69–83. *Forest Management Sample Plots. Plot Layout Method.* Moscow, Ekologiya Publ., 1992. 17 p.

6. *The Research Program on the Topic 3.1/1 “Development of Environmental Friendly and Cost Efficient Regional Systems of Forest Management and Technologies that Improve Forest Productivity and Sustainability”.* Content by V.I. Zheldak. Moscow, VNIILM Publ., 2001. 79 p.

7. *Assortment Tables for Tree Species Forming Mixed Stands in Kostroma Region.* Content by V.P. Starostenko, M.A. Gruzdev. Kostroma, KTI Publ., 1978. 114 p.

8. Timoshenko V.I. *Formation of Spruce Stands by Silvicultural Methods in the Southern Taiga Subzone of the European Part of Russia (On the Example of Forests in Kostroma Region):* Cand. Agric. Sci. Diss. Abs. Bryansk, 2002. 23 p.

9. Chuyenkov V.S., Petrov V.M., Pis'merov A.V. Management in Growing Coniferous Stands in the European Ural Zone of the RSFSR on the Basis of Secondary Softwood Forests. *Precis Articles.* Moscow, TsBNTI Gosleskhoza SSSR Publ., 1987, iss. 4, pp. 1–40.

10. Brockerhoff E.G., Jactel H., Parrotta J.A., Quine Ch.P., Sayer J. Plantation Forests and Biodiversity: Oxymoron or Opportunity? *Biodiversity and Conservation*, 2008, vol. 17, iss. 5, pp. 925–951. DOI: 10.1007/s10531-008-9380-x

11. Deal R.L., Hennon P., O'Hanlon R., D'Amore D. Lessons from Native Spruce Forests in Alaska: Managing Sitka Spruce Plantations Worldwide to Benefit Biodiversity and Ecosystem Services. *Forestry*, 2014, vol. 87, iss. 2, pp. 193–208. DOI: 10.1093/forestry/cpt055

12. Fahy O., Foley N. Biodiversity Opportunities in Plantations Managed for Wood Supply. *Opportunities for Biodiversity Enhancement in Plantation Forests Proceedings of the COFORD Seminar, October 24, 2002, Cork.* Ed. by L. MacLennan. Dublin, 2004, pp. 1–6.

13. Humphrey J.W. Benefits to Biodiversity from Developing Old-Growth Conditions in British Upland Spruce Plantations: A Review and Recommendations. *Forestry*, 2005, vol. 78, iss. 1, pp. 33–53. DOI: 10.1093/forestry/cpi004

14. Kanninen M. Plantation Forests: Global Perspectives. *Ecosystem Goods and Services from Plantation Forests.* Ed. by J. Buhus, P. Van der Meer, M. Kanninen. London, Earthscan, 2010, pp. 1–15. Available at: <https://www.cifor.org/library/3157/> (accessed 13.09.18).

15. Lindegaard K.N., Adams P.W.R., Holley M., Lamley A., Henriksson A., Larsson S., Von Engelbrechten H.-G., Lopez G.E., Pisarek M. Short Rotation Plantations Policy History in Europe: Lessons from the Past and Recommendations for the Future. *Food and Energy Security*, 2016, vol. 5, iss. 3, pp. 125–152. DOI: 10.1002/fes3.86

16. Paquette A., Messier Ch. The Role of Plantations in Managing the World's Forests in the Anthropocene. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2010, vol. 8, iss. 1, pp. 27–34. DOI: 10.1890/080116

17. Von Teuffel K. Future Forest Research in Europe. *Forestry on Treshold of EU – Sixty Years of Work and Development of Forest Institutes in Croatia. Stubičke toplice, November 24–25, 2005.* Stubičke toplice, Croatia, 2005, pp. 76–88.

Received on September 13, 2018

УДК 630\*2

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.32

## ИЗМЕНЧИВОСТЬ ТОЛЩИНЫ И МАССЫ КОРЫ БЕРЕЗЫ ПО ДЛИНЕ СТВОЛА

*А.В. Грязькин, д-р биол. наук, проф.*

*Н.В. Беляева, д-р с.-х. наук, проф.*

*Д.А. Данилов, д-р с.-х. наук, проф.*

*Г.В. Ванджурак, аспирант*

*Ву Ван Хунг, аспирант*

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия, 194021; e-mail: lesovod@bk.ru

Благодаря особым свойствам кора березы, береста, находит широкое применение в строительстве, фармакологии, медицине, косметологии и других отраслях экономики. Объект исследования – береза пушистая (*Betula pubescens* Ehrh.). Состав древостоя – 5Б3Ос2Олс1Е, средний диаметр стволов – 21,5 см, средняя высота древостоя – 22,5 м, относительная полнота – 0,7, класс бонитета – II, запас – 220 м<sup>3</sup>/га. Цель исследования – установить изменчивость характеристик коры березы по длине ствола в зависимости от его диаметра и возраста дерева. Для анализа было спилено 9 модельных деревьев березы разных ступеней толщины. Из ствола на высоте 0,3; 1,3; 2,0 м и далее через каждые 2,0 м выпиливали образцы (диски) толщиной 2...3 см. Диски взвешивали в свежем состоянии, после чего от них отделяли и взвешивали сначала бересту, а затем флоэму. Все фракции высушивали до воздушно сухого состояния и снова фиксировали массу. По итогам второго взвешивания определяли влажность образцов, содержание коры, бересты и флоэмы в общей массе образца. Установлено, что толщина, масса, влажность флоэмы и бересты изменяются по высоте ствола с определенной закономерностью. Максимальное содержание флоэмы и бересты у всех модельных деревьев отмечается в верхней трети ствола, в зоне кроны, – соответственно 16,0...21,0 и 4,0...7,0 %, несколько меньше – в комлевой части. Минимальное содержание этих фракций характерно для бессучковой зоны ствола: соответственно 7,0...9,0 и 2,0...3,0 %. Масса и толщина коры закономерно уменьшаются от комля к вершине, но имеются и исключения для образцов, взятых в местах ответвлений, особенно в местах прикрепления толстых ветвей. В этих зонах толщина и масса коры всегда больше по сравнению с зонами, расположенными ниже или выше по стволу. В среднем на флоэму приходится 12,4 % от массы древесины, на бересту – 3,5 %. Влажность флоэмы и бересты также изменяется по высоте ствола, при этом получены закономерности, аналогичные изменению массы и толщины этих фракций. Самая высокая влажность бересты и флоэмы отмечена в зоне кроны, минимальная – в штамбовой части ствола. Во всех случаях влажность флоэмы выше, чем у древесины и бересты: соответственно 147,0; 131,2 и 105,8 %. Показано, что чем меньше возраст модельных деревьев, тем выше влажность бересты и флоэмы. Полученные данные позволяют более точно определять объем коры и запас бересты. Учитывая влажность бересты и коры в целом, можно более корректно оценивать долю этих фракций от общей массы ствола.

**Для цитирования:** Грязькин А.В., Беляева Н.В., Данилов Д.А., Ванджурак Г.В., Хунг Ву Ван. Изменчивость толщины и массы коры березы по длине ствола // Лесн. журн. 2019. № 2. С. 32–39. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.32

*Ключевые слова:* береза пушистая, диаметр ствола, возраст дерева, кора, береста.

### Введение

Береза в России – самая известная лесообразующая порода, и с каждым годом внимание исследователей к этому полиресурсному виду только растет. Березняки, занимающие 13 % площади лесного фонда, являются источником разнообразного сырья [1, 4–7]. Уникальные свойства березовой коры – объект многочисленных исследований специалистов разных направлений не только в нашей стране, но и за рубежом [1–7, 9, 10–15, 17].

В настоящее время береста как уникальный природный материал используется в строительстве, лесохимической и медицинской отраслях, для хозяйственных нужд [2, 3, 5, 9, 11, 14, 16, 17].

Публикации по биометрическим характеристикам коры, бересты и флоэмы практически отсутствуют, изменчивость характеристик по длине ствола не рассматривалась. Справочные данные в общих таблицах В.В. Загреева и др. [8] содержат лишь усредненные данные по запасам коры для лесообразующих пород независимо от лесорастительных условий, что не отвечает современным требованиям. Общие запасы бересты в березняках среднего Поволжья приведены в публикациях Ю.П. Демакова и др. [6], С.А. Денисова [7].

Цель исследования – установить изменчивость характеристик коры березы по длине ствола в зависимости от его диаметра и возраста дерева.

### Объекты и методы исследования

Объектом исследования является береза пушистая (*Betula pubescens* Ehrh.), произрастающая в березняках смешанного состава в Киришском лесничестве Ленинградской области. Тип леса – березняк черничный. Состав древостоя – 5Б3Ос2Олс1Е, средний диаметр стволов – 21,5 см, средняя высота древостоя – 22,5 м, относительная полнота – 0,7, класс бонитета – II, запас – 220 м<sup>3</sup>/га.

Для детального анализа биометрических характеристик коры березы пушистой было спилено 9 модельных деревьев, по 3 модели разных ступеней толщины – 12, 24 и 32 см. Из ствола выпиливали образцы (диски) толщиной 2...3 см на высоте 0,3; 1,3; 2,0 м и далее через каждые 2,0 м. Определяли возраст (количество годичных колец), линейкой измеряли диаметр в двух взаимно перпендикулярных направлениях с точностью  $\pm 1,0$  мм (в дальнейших расчетах использовали среднее значение из двух измерений). Толщину коры, бересты и флоэмы\* измеряли штангенциркулем с точностью  $\pm 0,1$  мм в четырех точках по окружности диска (в дальнейших расчетах использовали среднее значение из четырех измерений). Диски взвешивали в свежем состоянии, затем от них отделяли и взвешивали сначала бересту, а затем флоэму, которые входят в состав коры. После этого образцы сушили до воздушно сухого состояния и снова взвешивали. По итогам второго взвешивания устанавливали влажность и долю коры, флоэмы и бересты от общей массы образца. Для взвешивания использовали электронные лабораторные весы M-ER 122ACF-3000.1 LCD. Точность взвешивания  $\pm 0,1$  г.

---

\*Береста (корка) – верхний слой коры березы. Флоэма (луб) – проводящая ткань, расположенная под берестой, по ней проходит нисходящий транспорт продуктов фотосинтеза. Кора – совокупность тканей (бересты и флоэмы), расположенных снаружи от камбия.

*Результаты исследования и их обсуждение*

В составе березняков Ленинградской области и северо-запада европейской части России преимущественно произрастает береза пушистая – [1, 6, 7]. Основная часть березовых лесов представлена березняком черничным и березняком кисличным. Преобладают древостои смешанного состава, II-III классов бонитета. В табл. 1 приведены средние значения характеристик модельных деревьев по ступеням толщины. Модельные деревья были отобраны в березняке черничном.

Таблица 1

**Основные характеристики модельных деревьев по ступеням толщины**

Ступень толщины, см	Возраст, лет	Высота, м	Диаметр, см	Протяженность кроны, м
12	57,1	11,3	12,3	7,2
24	76,8	29,1	23,7	6,1
32	76,2	31,3	32,8	3,5

В ходе исследования установлено, что толщина, масса и влажность коры, флоэмы и бересты зависят как от диаметра образца, так и от возраста (количества годовичных колец). В табл. 2 представлены средние значения для модельных деревьев по ступеням толщины.

Таблица 2

**Толщина и масса флоэмы и бересты по длине ствола**

Высота отбора диска, м	Возраст, лет	Диаметр диска, см	Толщина, мм		Доля от общей массы образца, %	
			флоэмы	бересты	флоэмы	бересты
<i>Ступень толщины – 12 см</i>						
0,3	58	12,5	2,8	1,2	10,0	4,1
1,3	52	11,0	2,5	1,1	9,0	4,9
2	50	10,5	2,2	1,0	8,5	4,0
4	48	9,2	2,0	0,9	8,8	4,9
6	46	8,6	1,9	0,7	10,1	4,9
8	42	6,1	1,5	0,5	10,0	9,5
10	36	4,0	1,2	0,4	11,3	4,7
<i>Среднее</i>	–	–	2,01	0,83	9,67	5,3
<i>Ступень толщины – 24 см</i>						
0,3	79	24,3	3,9	1,6	3,1	6,8
1,3	77	22,7	3,7	1,3	3,0	5,7
2	75	22,1	3,3	1,2	2,3	5,1
4	71	20,6	3,0	1,1	2,8	5,5
6	68	19,5	2,9	1,0	2,8	5,7
8	63	19,1	2,5	1,0	2,0	6,6
10	59	17,6	2,2	0,9	2,8	7,3
12	56	17,1	2,1	0,9	2,4	6,9
14	54	16,0	2,0	0,8	3,5	7,8
16	48	14,7	1,7	0,7	3,2	8,3
18	45	13,5	1,6	0,7	4,7	8,8
20	42	12,2	1,5	0,6	4,6	10,2
22	38	10,3	1,5	0,5	4,1	11,3
24	34	8,4	1,4	0,4	4,8	15,8
26	32	5,9	1,2	0,4	3,4	13,9
28	25	3,4	1,0	0,3	2,7	13,3
30	15	1,7	0,8	0,2	6,7	13,3
<i>Среднее</i>	–	–	2,14	0,80	3,45	8,96

Окончание табл. 2

Высота отбора диска, м	Возраст, лет	Диаметр диска, см	Толщина, мм		Доля от общей массы образца, %	
			флоэмы	бересты	флоэмы	бересты
<i>Ступень толщины – 32 см</i>						
0,3	77	32,8	8,9	4,6	8,3	5,8
1,3	76	30,5	5,7	3,7	9,1	3,3
2	75	29,1	4,8	3,0	8,7	3,1
4	74	28,0	4,4	3,0	7,9	3,1
6	72	26,8	4,3	2,5	8,6	3,1
8	69	25,9	4,2	2,5	8,6	2,4
10	63	25,6	4,2	2,3	9,2	3,0
12	57	24,1	4,2	2,3	9,8	3,8
14	53	21,1	4,2	2,1	10,5	4,0
16	49	20,6	4,0	2,0	12,3	3,8
18	45	19,1	4,0	2,0	11,6	3,8
20	41	17,6	3,3	1,6	11,5	3,6
22	39	15,6	3,3	1,5	12,8	4,1
24	36	14,2	3,1	1,4	13,6	3,7
26	33	9,3	2,5	0,9	15,3	4,6
28	25	5,1	1,4	0,3	18,7	5,8
<i>Среднее</i>	–	–	–	–	11,03	3,82

Полученные результаты показывают, что все характеристики флоэмы и бересты изменяются по высоте ствола. Максимальное содержание флоэмы и бересты независимо от размеров дерева отмечается в верхней трети ствола, в зоне кроны. Здесь содержание флоэмы составляет 16...21 %, а бересты – 4...7 %. В комлевой части ствола эти значения несколько меньше. Минимальное содержание указанных фракций в общей массе характерно для бессучковой (штамбовой) зоны ствола, где доля флоэмы – 7...9 %, бересты – 2...3 %, т. е. этот показатель в 2–3 раза меньше, чем в зоне кроны.

Как видно из табл. 2, толщина флоэмы уменьшается от комля к вершине, однако есть и исключения. У образцов, взятых в местах ответвлений, особенно в местах прикрепления толстых ветвей, толщина и масса коры всегда больше по сравнению с участками ствола, расположенными ниже или выше ответвлений.

Установлено, что доля бересты от массы древесины составляет 3,5...5,3 %, а доля флоэмы – 9,0...11,0 %. В целом на долю коры ствола березы приходится около 14 %. Эти значения зависят от размеров дерева (табл. 3).

Таблица 3

## Толщина и масса флоэмы, бересты и коры по ступеням толщины ствола

Ступень толщины, см	Толщина, мм		Доля от общей массы, %		
	флоэмы	бересты	флоэмы	бересты	коры
12	2,0	0,8	9,7	5,3	15,0
24	2,1	0,8	9,0	3,5	12,5
32	3,8	2,0	11,0	3,8	14,8
<i>Среднее</i>	–	–	9,90	4,20	14,10

Статистическая обработка полученных линейных показателей толщины флоэмы и бересты по высоте ствола показала достоверное их отличие для деревьев разной категории крупности (табл. 4). Нарастание как бересты,

так и флоэмы происходит по-разному, так как у более крупных деревьев транспорт продуктов фотосинтеза к точкам роста и запасующим органам идет активнее. Однако в целом наблюдается достоверно сходное соотношение между массой флоэмы и бересты ствола и массой древесины исследованных модельных деревьев.

Таблица 4

**Дисперсионный анализ различий толщины флоэмы (знаменатель) и бересты (числитель) по ступеням толщины ствола**

Показатель	Сумма квадратов	Степень свободы	Средний квадрат	Критерий Фишера		
				фактический	теоретический	
					при p = 1 %	при p = 5 %
Общая дисперсия	<u>38,7</u> 95,03	39	–	18,70 13,84	5,23 5,23	3,25 3,25
Дисперсия вариантов	<u>19,4</u> 40,66	2	<u>9,72</u> 20,33			
Дисперсия остаточная	<u>19,2</u> 54,37	37	<u>0,52</u> 1,47			
Наименьшая существенная разность вариантов	<u>2</u> 2	<u>3</u> 3	–			
1	<u>0,509</u> 1,103	<u>0,662</u> 1,113	–			
2	–	<u>0,656</u> 0,855	–			

Влажность флоэмы и бересты также изменяется по высоте ствола аналогично изменению массы и толщины этих фракций. Самая высокая влажность флоэмы и бересты отмечена в зоне кроны, минимальная – в штамбовой части ствола. При этом влажность флоэмы выше, чем у древесины и бересты. Установлено также, что чем моложе модельное дерево, тем выше влажность его флоэмы и коры. Для бересты подобная закономерность не отмечена (табл. 5).

Таблица 5

**Средние значения влажности флоэмы, бересты и древесины по ступеням толщины ствола**

Степень толщины, см	Возраст дерева, лет	Влажность, %		
		бересты	флоэмы	древесины
12	58	129,7	132,1	126,1
24	79	156,3	160,0	148,1
32	77	105,8	147,0	131,2

*Заключение*

Выявлена линейная зависимость толщины бересты и флоэмы березы пушистой от диаметра ствола. С увеличением диаметра ствола толщина флоэмы и бересты увеличивается. Кроме того, все биометрические характеристики бересты и флоэмы зависят также от высоты взятия образца, т. е. изменяются по высоте ствола. Причем на эту зависимость оказывает влияние и возраст дерева. При одинаковом диаметре ствола доля флоэмы и бересты больше у деревьев старшего возраста. Проведенный дисперсионный анализ показал,



что толщина флоэмы и бересты статистически значимо отличается по ступеням толщины, т. е. зависит от диаметра ствола.

Таким образом, все биометрические характеристики бересты и флоэмы изменяются по длине ствола. Максимальные значения отмечаются в кроновой части ствола, минимальные – в штамбовой.

Полученные данные позволяют более точно определять объем коры и запас бересты. Учитывая влажность бересты и коры в целом, можно более корректно оценивать долю этих фракций от общей массы ствола.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абатуров Ю.Д., Зворыкина К.В., Ильюшенко А.Ф. Типы березовых лесов центральной части южной тайги. М.: Наука, 1982. 156 с.
2. Веприкова Е.В., Терещенко Е.А., Чесноков Н.В., Кузнецов Б.Н. Использование бересты коры березы для получения сорбционных материалов // Журн. Сиб. федер. ун-та. Химия. 2012. Т. 5, № 2. С. 178–188.
3. Винокурова Р.И., Трошкова И.Ю. Изменчивость накопления бетулина и суберина в бересте *Betula pendula* Roth. в зависимости от географической зональности // Лесн. журн. 2008. № 3. С. 126–130. (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Горобец А.И. Недревесная продукция леса. Основы лесохимических производств. Воронеж: ВГЛТА, 2012. 82 с.
5. Грязькин А.В., Смирнов А.П. Недревесная продукция леса: учеб. пособие. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. 336 с.
6. Демаков Ю.П., Смыков А.Е., Денисов С.А. Структура и динамика березняков республики Марий Эл // Вестн. Марийского гос. техн. ун-та. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2009. № 1. С. 5–18.
7. Денисов С.А. Динамика формационной структуры березняков в связи с их онтогенезом в различных эдапах в среднем Поволжье // Вестн. Марийского гос. техн. ун-та. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2009. № 3. С. 13–27.
8. Загребев В.В., Сухих В.И., Швиденко А.З., Гусев Н.Н., Мошкалева А.Г. Общесоюзные нормативы для таксации лесов, 1992.
9. Лигостаева Ю.В. Фармакогностическое исследование бересты и перспективы ее использования в медицине: автореф. дис. ... канд. фармацевт. наук. Самара, 2015. 24 с.
10. Радькова Е.А. Комплексная эколого-гигиеническая оценка экстракционной переработки коры березы: автореф. дис. ... канд. мед. наук. СПб., 2007. 24 с.
11. Dehelean C.A., Şoica C., Ledeti I., Aluaş M., Zupko I., Găluşcan A., Cinta-Pinzaru S., Munteanu M. Study of the Betulin Enriched Birch Bark Extracts Effects on Human Carcinoma Cells and Ear Inflammation // Chemistry Central Journal. 2012. Vol. 6, no. 1. Pp. 1–9. DOI: 10.1186/1752-153X-6-137
12. Fulvio F.D., Kroon A., Bergström D., Nordfjell T. Comparison of Energy-Wood and Pulpwood Thinning Systems in Young Birch Stands // Scandinavian Journal of Forest Research. 2011. Vol. 26, iss. 4. Pp. 339–349. DOI: 10.1080/02827581.2011.568951
13. Gryazkin A.V., Beliaev V.V., Beliaeva N.V., Petrik V.V., Kuznetsov E.N., Shakhov A.G. The Logging Waste as Inexhaustible Resource for Alternative Energy // Thermal Science. 2017. Vol. 21, iss. 2. Pp. 1135–1142. DOI: 10.2298/TSCI150306047G
14. Laszczyk M. Triterpentrockenextrakt aus Birkenkork (*Betula alba* cortex). Pforzheim, 2007. 157 p.
15. Sami A., Taru M., Salme K., Jari Y.-K. Pharmacological Properties of the Ubiquitous Natural Product Betulin // European Journal of Pharmaceutical Sciences. 2006. Vol. 29, iss. 1. Pp. 1–13. DOI: 10.1016/j.ejps.2006.04.006
16. Skuterud R., Dietrichson J. Budburst in Detached Birch Shoots (*Betula pendula*) of Different Varieties Winter-Stored in Darkness at Three Different Temperatures // Silva Fennica. 1994. Vol. 28, no. 4. Pp. 233–241. DOI: 10.14214/sf.a9176

17. Taipale H.T., Lapinjoki S.P. Use of Evaporative Light-Scattering Mass Detection in HPLC of Triterpenes in the Bark Resin of Betula Species // Phytochemical Analysis. 1991. Vol. 2, no. 2. Pp. 84–86. DOI: 10.1002/psa.2800020209

Поступила 23.07.18

UDC 630\*2

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.32

### Thickness and Weight Variability of Birch Bark along the Trunk Length

*A.V. Gryazkin, Doctor of Biological Sciences, Professor*

*N.V. Belyaeva, Doctor of Agricultural Sciences, Professor*

*D.A. Danilov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor*

*G.V. Vandzhurak, Postgraduate Student*

*Vu Van Hung, Postgraduate Student*

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

Due to the special properties birch bark finds wide application in construction, pharmacology, medicine, cosmetology and other branches of economy. The study object is downy birch (*Betula pubescens* Ehrh.). The stand composition consist of 5 birches, 3 aspens, 2 alders and 1 spruce; the average trunk diameter is 21.5 cm; the average stand height is 22.5 m; the relative density is 0.7; the bonitet is II; the stem wood stock is 220 m<sup>3</sup>/ha. The research purpose is to determine the variability of birch bark parameters along the trunk length depending on trunk diameter and tree age. Nine model birch trees from the different diameter classes were sawn for the detailed analysis. At the height of 0.3, 1.3, 2.0 m and then every 2.0 m the disk shaped samples with thickness of 2–3 cm were sawn out the tree trunk. The fresh-sawn disks were weighed; after that the birch bark upper layer was separated and weighted, then the same was done with phloem. All fractions were dried up to the air dry condition and weighed again. According to the results of the second weighing, the humidity of the samples and the content of bark, birch bark upper layer, and phloem were determined in the total weight of a sample. It has been established that thickness, weight, and humidity of phloem and birch bark upper layer vary in trunk height with certain regularity. The maximum content of phloem and birch bark upper layer for all model trees is found in the upper third of a trunk, in the crown; 16–21 and 4–7 %, respectively; little less than in butt. The minimum content of these fractions is typical for the branchless part of a trunk; the share of phloem is 7–9 %, the share of birch bark upper layer is 2–3 %. The mass and thickness of bark expectedly decrease from the butt to the top; however, there are some exceptions for the samples taken at branch points, especially at the points of thick branches attachment. In these areas thickness and mass of butt are always greater in comparison with the areas below or above the trunk. On average, the share of phloem is 3.45 % from the tree mass; the share of birch bark upper layer is 12.41 %. The humidity of phloem and birch bark varies in height of the trunk. Herewith, the obtained patterns are similar to the change of mass and thickness of these fractions. The highest humidity of phloem and birch bark upper layer is found in the crown area; the lowest humidity is found in the clear stem of a trunk. In all cases, the phloem humidity is higher than that of wood and birch bark upper layer; 147.0; 131.2 and 105.8 %, respectively. It was also shown that the lower the age of model trees, the higher the humidity of birch bark upper layer and phloem. The obtained data allow us to determine more accurately the volume of bark and birch bark upper layer stock. It is possible to estimate more accurately the share of birch bark upper layer and bark from the total weight of the trunk, in view of their humidity in general.

**For citation:** Gryazkin A.V., Belyaeva N.V., Danilov D.A., Vandzhurak G.V., Hung Vu Van. Thickness and Weight Variability of Birch Bark along the Trunk Length. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2019, no. 2, pp. 32–39. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.32

**Keywords:** downy birch, trunk diameter, tree age, bark, birch bark upper layer.

## REFERENCES

1. Abaturov Yu.D., Zvorykina K.V., Il'yushenko A.F. *Types of Birch Forests in the Central Part of the Southern Taiga*. Moscow, Nauka Publ., 1982. 156 p.
2. Veprikova E.V., Tereshchenko E.A., Chesnokov N.V., Kuznetsov B.N. Utilization of Outer Birch Bark for Sorption Materials Produce. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Khimiya* [Journal of Siberian Federal University. Chemistry], 2012, vol. 5, no. 2, pp. 178–188.
3. Vinokurova R.I., Troshkova I.Yu. Variability of Betulin and Suberin Accumulation in Birch Bark of *Betula Pendula* Roth Depending on Geographical Zoning. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2008, no. 3, pp. 126–130.
4. Gorobets A.I. Non-Wood Forest Products. *Fundamentals of Wood Chemical Industries*. Voronezh, VGLTA Publ., 2012. 82 p.
5. Gryazkin A.V., Smirnov A. P. *Non-Wood Forest Products: Educational Textbook*. Saint Petersburg, Polytechnic University Publ., 2008. 417 p.
6. Demakov Yu.P., Smykhov A.Ye., Denisov S.A. Structure and Dynamics of Birch Forests of Mari El. *Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovaniye*. [Vestnik of Mari State Technical University. Series: Forest. Ecology. Nature Management], 2009, no. 1, pp. 5–18.
7. Denisov S.A. Formational Structure Dynamics of Birch Forests in View of Its Ontogenesis in Various Edatopes in Volga Region. *Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Les. Ekologiya* [Vestnik of Mari State Technical University. Series: Forest. Ecology. Nature Management], 2009, no. 3, pp. 13–27.
8. Zagreyev V.V., Sukhikh V.I., Shvidenko A.Z., Gusev N.N., Moshkalev A.G. *All-Union Standards for Forest Valuation*, 1992.
9. Ligostayeva J.V. *Pharmacognostic Study of Birch Bark and Prospects of Its Use in Medicine*: Cand. Pharm. Sci. Diss. Abs. Samara, 2015. 24 p.
10. Rad'kova E.A. *Integrated Ecological and Hygienic Evaluation of Birch Bark Processing*: Cand. Med. Sci. Diss. Abs. Saint Petersburg, 2007. 24 p.
11. Dehelean C.A., Şoica C., Ledeti I., Aluș M., Zupko I., Gălușcan A., Cinta-Pinzaru S., Munteanu M. Study of the Betulin Enriched Birch Bark Extracts Effects on Human Carcinoma Cells and Ear Inflammation. *Chemistry Central Journal*, 2012, vol. 6, no. 1, pp. 1–9. DOI: 10.1186/1752-153X-6-137
12. Fulvio F.D., Kroon A., Bergström D., Nordfjell T. Comparison of Energy-Wood and Pulpwood Thinning Systems in Young Birch Stands. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2011, vol. 26, iss. 4, pp. 339–349. DOI: 10.1080/02827581.2011.568951
13. Gryazkin A.V., Beliaev V.V., Beliaeva N.V., Petrik V.V., Kuznetsov E.N., Shakhov A.G. The Logging Waste as Inexhaustible Resource for Alternative Energy. *Thermal Science*, 2017, vol. 21, iss. 2, pp. 1135–1142. DOI: 10.2298/TSCI150306047G
14. Laszczyk M. *Triterpentrockenextrakt aus Birkenkork (Betula alba cortex)*. Pforzheim, 2007. 157 p.
15. Sami A., Taru M., Salme K., Jari Y.-K. Pharmacological Properties of the Ubiquitous Natural Product Betulin. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, 2006, vol. 29, iss. 1, pp. 1–13. DOI: 10.1016/j.ejps.2006.04.006
16. Skuterud R., Dietrichson J. Budburst in Detached Birch Shoots (*Betula pendula*) of Different Varieties Winter-Stored in Darkness at Three Different Temperatures. *Silva Fennica*, 1994, vol. 28, no. 4, pp. 233–241. DOI: 10.14214/sf.a9176
17. Taipale H.T., Lapinjoki S.P. Use of Evaporative Light-Scattering Mass Detection in HPLC of Triterpenes in the Bark Resin of *Betula* Species. *Phytochemical Analysis*, 1991, vol. 2, no. 2, pp. 84–86. DOI: 10.1002/pca.2800020209

Received on July 23, 2018

УДК 630\*221.045

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.40

**ОТТОК И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ <sup>14</sup>C-АССИМИЛЯТОВ У ЕЛИ ПРИ ВЫБОРОЧНЫХ РУБКАХ В СЕВЕРОТАЕЖНЫХ ФИТОЦЕНОЗАХ****В.Н. Коновалов<sup>1</sup>, д-р с.-х. наук, проф.****Л.В. Зарубина<sup>2</sup>, д-р с.-х. наук, проф.**<sup>1</sup>Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: v.konovалov@narfu.ru<sup>2</sup>Вологодская государственная молочнохозяйственная академия им. Н.В. Верещагина, ул. Шмидта, д. 2, с. Молочное, г. Вологда, Россия, 160555; e-mail: liliya270975@yandex.ru

Одним из направлений успешного решения проблемы повышения продуктивности северных лесов может служить рациональная система рубок. Применяемые в лесоводстве физиологические методы исследований и, прежде всего, изучение донорно-акцепторных отношений у деревьев позволяют получать необходимые сведения об эффективности данного мероприятия, не дожидаясь конечного результата в виде прироста побегов. В древостоях разного состава и возраста на почвах различного механического состава у подроста ели в течение ряда лет изучалось влияние главной рубки и рубок ухода на скорость фотосинтеза, накопления, оттока и передвижения <sup>14</sup>C-ассимилятов в разновозрастной хвое в целях ускоренного получения необходимой информации об эффективности выбранной системы рубок. Объектом исследования служили осушаемый мелкой мелиорацией кустарничково-сфагновый сосняк с подростом ели, ельники и березняки черничных лесорастительных условий с разной интенсивностью рубки. Установлено, что под пологом спелых древостоев освещенность не превышает 8...12 % от открытого места и не соответствует биологической норме для ели. Из-за недостатка света у подроста ели снижается интенсивность фотосинтеза, нарушаются донорно-акцепторные связи между надземной и подземной системами, работа корневой системы, задерживается формирование ассимиляционного аппарата. Выборочные рубки и рубки ухода, увеличивая поступление под полог солнечного света и тепла, активизируют у подроста работу корневой системы и ассимиляционного аппарата, усиливают донорно-акцепторные взаимосвязи, ускоряют освобождение ассимиляционного аппарата от продуктов фотосинтеза и переход его на самостоятельное углеродное питание, благоприятно влияют на ростовые процессы. Высокая интенсивность рубки (70 %) в первый прием, как и ее отсутствие, у подроста ели отрицательно сказывается на перечисленных процессах. Изучение донорно-акцепторных отношений у деревьев позволяет достаточно быстро иметь необходимые данные об эффективности выбранного мероприятия даже без наличия информации о приросте побегов, которую можно получить только через 3–5 лет после рубки.

**Для цитирования:** Коновалов В.Н., Зарубина Л.В. Отток и распределение <sup>14</sup>C-ассимилятов у ели при выборочных рубках в северотаежных фитоценозах // Лесн. журн. 2019. № 2. С. 40–55. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.40

**Ключевые слова:** ель, сосняк сфагновый, ельник, березняки черничные разного возраста, интенсивность рубки, освещенность, фотосинтез, отток <sup>14</sup>C-ассимилятов, донорно-акцепторные связи.

*Введение*

Проблема повышения продуктивности лесов Европейского Севера в настоящее время является одной из ключевых. Она чрезвычайно важна

и актуальна, что обусловлено истощением лесных запасов Севера, интенсивной сменой коренных хвойных насаждений производными лиственными и лиственно-хвойными насаждениями. Успешное решение этой проблемы может быть достигнуто несколькими методами, одним из которых является применение разнообразных видов рубок с сохранением подроста как резерва для воспроизводства хвойных насаждений. Важное место при этом отводится физиологическим методам, позволяющим ускоренно выявлять наиболее эффективные применяемые лесохозяйственные мероприятия и значительно сокращать сроки для принятия необходимых мер. Среди физиологических методов ведущее место занимает интеграция продуктов фотосинтеза и роста древесного организма, скорости оттока и снабжения аттрагирующих зон растения энергетическим материалом (фотоассимилятами). На уровне растения это реализуется через систему донорно-акцепторных связей, которая позволяет сбалансированно распределять продукты фотосинтеза, ускорять их поступление к активно функционирующим системам, сохранять согласованность между основными физиологическими и ростовыми процессами. Существование корреляции между фотосинтетической функцией листа и суммарной активностью аттрагирующих центров позволяет достаточно быстро отслеживать уровень реакции фотосинтезирующих органов, прежде всего листьев, а также корневой системы на действие внешних факторов [2, 19, 22]. Так, блокирование оттока ассимилятов при любых условиях (при затоплении корней либо недостатке света и других условиях) влечет за собой повышение содержания в листе растворимых углеводов, снижение интенсивности фотосинтеза, усиление активности фото- и темнового дыхания, деструкцию хлорофилла, способствует переориентации части потока ассимилятов с одного органа на другие менее важные для растения функционирующие системы. Уменьшение уровня минерального питания усиливает эти тенденции [5, 9, 10, 13, 22, 30].

Ключевая роль в функционировании донорно-акцепторной системы принадлежит активным соединениям – ассимилятам, фитогормонам – и потребляющим органам, активность которых в свою очередь определяется особенностями условий местопроизрастания растений и отложения веществ в запас [11, 13, 14, 19, 22, 23].

Работ, касающихся особенностей сезонного формирования ассимиляционного аппарата, взаимосвязей между физиологическими процессами в кроне и в подземных частях древесного растения в период его вегетации под действием светового режима, корневого питания, практически нет, за исключением [5, 20, 31]. Однако такие исследования представляют значительный интерес не только с научной точки зрения, но и в связи с прикладными проблемами светового и минерального питания лесных деревьев.

Цель исследования – изучение сезонной динамики оттока и распределения углерода-14, вводимого в лист путем фотосинтеза, у подроста ели в древостоях разного породного состава и лесорастительных условий. Через активность углерода-14 возможно комплексно оценить эффективность применяемых в лесу видов рубок для подроста, закономерность распределения в дереве  $^{14}\text{C}$ -продуктов с последующим отслеживанием метки в его органах в течение вегетационного периода во время развития молодой хвои.

#### *Объекты и методы исследования*

Объектами исследования выступали: интенсивно осушаемый с помощью мелкой мелиорации 52-летний сосняк кустарничково-сфагновый (Исакогорское

участковое лесничество, кв. 22; расстояние между осушителями – 30 м, их глубина – 50 см); 53- и 59-летние березняки черничных типов лесорастительных условий, произрастающие на суходольных почвах в средней подзоне тайги (Левашское участковое лесничество, кв. 92 и 93); 13-летний березняк и 127-летний ельник черничный (мастерский участок «Воджером» Луковецкого участкового лесничества).

В 13-летнем березняке и 52-летнем сосняке выборочную рубку деревьев проводили равномерно по всей площади ручным способом с укладкой порубочных остатков в кучи для перегнивания. В 53-летнем березняке опытную рубку выполняли традиционным способом с применением бензопилы «Урал» и трактора ТДТ-55 (интенсивность рубки 35, 50 и 70 %). Часть насаждения оставляли в качестве контроля. Разработку лесосек в 59-летнем березняке и 127-летнем ельнике черничных типов леса производили промышленным способом по узкопосечной технологии с рубкой деревьев и вывозкой сортиментов. Выборка в березняке составляла 52 %, в ельнике – 48 %, в сосняке – 22 % по запасу. В березняке рубку выполняли комплексом машин харвестер («Софит-х») + форвардер («Софит-6ф»), в ельнике – на базе многооперационной лесоповалочно-трелевочной машины канадской фирмы «Кёринг».

В каждом древостое (на опытных и контрольных участках) в течение вегетационного периода исследовали влияние выборочной рубки на скорость фотосинтеза, отток и распределение  $^{14}\text{C}$  в органах подроста ели средней высоты.

Измерение интенсивности видимой солнечной радиации (освещенности) проводили в июне–июле на высоте 1,5 м от поверхности почвы с помощью двух люксметров Ю-116М по 30...40 постоянным точкам, которые были закреплены в натуре деревянными кольшками, в околополуденные часы ( $13^{00}$ ) одновременно в лесу и на открытом месте [1, 29, 33, 32]. При введении в дерево  $^{14}\text{C}$  освещенность замеряли через каждые 5 мин непосредственно над камерой. Основу методики изучения потенциального фотосинтеза и оттока ассимилятов составил радиометрический метод [6]. Расчетная концентрация  $^{14}\text{CO}_2$  в газовой смеси ( $^{14}\text{CO}_2 + ^{12}\text{CO}_2$ ) при изучении фотосинтеза составляла 0,2 МБк/л, при изучении оттока ассимилятов – 8,0 МБк/л. Продолжительность экспозиции побегов в период подкормки верхних 3...5 мутовок дерева в газовой смеси – 30 мин, при определении фотосинтеза – 10 мин. Сроки отбора растительных образцов от деревьев при изучении оттока ассимилятов в каждом конкретном опыте определяли в соответствии с принятым регламентом опыта. Собранный и абсолютно высушенный растительный материал измельчали в металлической ступке с ребристой круговой нарезкой с помощью медного пестика. Подсчет радиоактивности (количество имп./мин) проводили на низкофоновом радиометре Б-3 со счетчиком МСТ-17 в 2–4-кратных аналитических повторностях. Биологическая повторность каждого опыта 2-кратная.

Данные в таблицах и на графиках представлены в виде среднего арифметического показателя, полученного из 4...6 аналитических повторностей. Массу хвои определяли в абсолютно сухом виде.

#### *Результаты исследования и их обсуждение*

Известно, что недостаток солнечной радиации и тепла в древостоях ухудшает жизненное состояние подпологовых растений, снижает у них интенсивность фотосинтеза и нарушает донорно-акцепторные связи [3, 4, 7, 8, 11, 15, 17, 19, 28]. Выборочные рубки, увеличивая поступление света и тепла под основной полог древостоев, положительно воздействуют на жизненное

состояние естественного возобновления сосны и ели, улучшают их функциональное состояние и рост [9, 16, 20, 21, 24–26].

Результаты оценки влияния способа рубки на световой режим на объектах исследования приведены в табл. 1. Все данные получены в период постановки опытов спустя 2–12 лет после проведенной рубки.

Таблица 1

**Освещенность на пробных площадях (ПП)**

№ ПП	Дата опыта	Тип лесорастительных условий	Возраст, лет	Вид рубки	Процент выборки по запасу	Освещенность	
						тыс. лк	%
1	2.VII. 2003 г.	Сосняк кустарничково-сфагновый	52	Контроль	0	11,7	21,0
				Выборочная	22	23,3	41,8
				Открытое место	100	55,7	100,0
2	20.VI. 1986 г.	Ельник черничный	127	Контроль	0	7,7	13,2
				Выборочная	48	14,8	25,4
				Открытое место	100	58,3	100,0
3	12.VI. 1992 г.	Березняк черничный	13	Контроль	0	42,6	64,2
				Рубки ухода	78	53,8	81,8
				Открытое место	100	66,3	100,0
3-а	12.VI. 1992 г.	Ельник черничный	160	Контроль	0	8,2	14,1
				Открытое место	100	58,3	100,0
4	30.V. 1990 г.	Березняк черничный	53	Контроль	0	8,0	12,1
				Выборочная	35	12,6	19,0
				Выборочная	50	34,3	51,7
				Выборочная	70	57,9	87,3
				Открытое место	100	66,3	100,0
5	5.VI. 2001 г.	Березняк черничный	59	Контроль	0	8,8	11,6
				Выборочная	52	35,6	47,5
				Открытое место	100	75,9	100,0

Анализ данных табл. 1 показывает, что максимальное количество солнечной радиации подрост ели получает в 13-летнем березняке черничного типа леса (около 65 % от полной). Такая освещенность соответствует необходимому минимуму для его нормального развития [1, 29, 33, 32]. После проведения в березняке рубок ухода в виде осветления интенсивностью 78 % освещенность под его пологом стала соответствовать почти полной. Минимальное количество света еловый подрост получает в ельниках черничных, не более 14 % от полного освещения, которого ему явно не хватает для выживания и осуществления ростовых процессов [28, 29].

После проведения в 127-летнем ельнике выборочной рубки интенсивностью 48 % поступление солнечной радиации под его полог возросло до 25 % от полной и достигло уровня, близкого к необходимому для нормального роста подрост ели. В 53- и 59-летних березняках черничных и в осушаемом сосняке сфагновом освещенность под пологом также невысокая и не соответствует необходимому минимуму для ели. Удаление в процессе рубки 35 % запаса в 53-летнем березняке так же практически не способствовало нарастанию освещенности под его пологом, тогда как при вырубке 50 % запаса освещенность стала соответствовать необходимой норме для подрост ели.

*Первый опыт* по оттоку  $^{14}\text{C}$ -ассимилятов у подрост ели нами был поставлен 20.VI.1988 г. в 127-летнем ельнике черничного типа леса на Крайнем

Севере (мастерский участок «Воджером» Луковецкого участкового лесничества). Состав древостоя 8Е1Б1Ос, высота ели 15,7 м, полнота 0,79. Древостой представлял собой подготовленный для рубки участок, освобожденный от валежа и сухостоя. За 2 года до постановки опыта на площади 17 га была проведена выборочная рубка (48 % по запасу и 23 % по числу стволов) путем равномерной вырубki крупномерных деревьев с применением многооперационной лесоповалочно-трелевочной машины канадской фирмы «Кёринг». Освещенность до рубки – 13,2 % от полной, после рубки – 25 %. У подростa ели средней высоты 4 верхние мутовки были подкормлены радиоуглекислотой. Во время подготовки опыта была переменная облачность, дневные температуры колебались от 13 до 16 °С. Результаты опыта приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Влияние выборочной рубки на скорость накопления и оттока <sup>14</sup>С-ассимилятов у подростa ели в 127-летнем ельнике черничном (радиоактивность  $R \cdot 10^3$ , имп./мин на 1 г абс. сухой массы)**

Объект исследования	Контрольный древостой				Участок древостоя с рубкой			
	Время после экспозиции							
	0,5 ч	24 ч	8 сут	72 сут	0,5 ч	24 ч	8 сут	72 сут
Хвоя:								
1-го года	8,8	24,2	62,4	26,2	27,3	51,9	66,9	19,8
2-го года	52,3	44,1	20,9	5,6	78,9	50,2	19,5	4,0
3-го года	41,5	32,0	20,3	5,1	69,8	50,9	23,3	4,8
4-го года	24,2	19,8	13,5	3,4	46,6	31,7	17,4	2,9
<i>Всего</i>	126,8	120,1	116,7	40,3	222,6	184,7	127,1	31,5
Корни	0	0	0,4	1,3	0	1,3	2,2	0,5

Радиохимический анализ показал, что самые высокие интенсивность фотосинтеза и скорость передвижения ассимилятов у подростa ели были зафиксированы на разреженных участках. За время подкормки в контрольном древостое в расчете на 1 г сухого вещества в процессе фотосинтеза у подростa 1–4-летней хвоей из радиоактивной смеси замкнутой системы было ассимилировано  $126,8 \cdot 10^3$  имп./мин, на участке, пройденном рубкой, –  $222,6 \cdot 10^3$  имп./мин, или в 1,8 раза больше [11]. Больше всего радиоуглеродных соединений на обоих участках было накоплено хвоей 2-го года вегетации: в контрольном древостое –  $52,3 \cdot 10^3$  имп./мин, на участке с рубкой –  $78,9 \cdot 10^3$  имп./мин; несколько меньше 3-летней хвоей. Хвоей 4-го года вегетации радиоактивных соединений в контрольном древостое было ассимилировано в 2 раза меньше, чем 2-летней хвоей, что, вероятно, связано с началом ее отмирания. Молодая хвоя к началу опыта была еще не полностью сформирована. За время подкормки ею было ассимилировано в 3–5 раз меньше радиоуглерода, чем хвоей 2-го года вегетации.

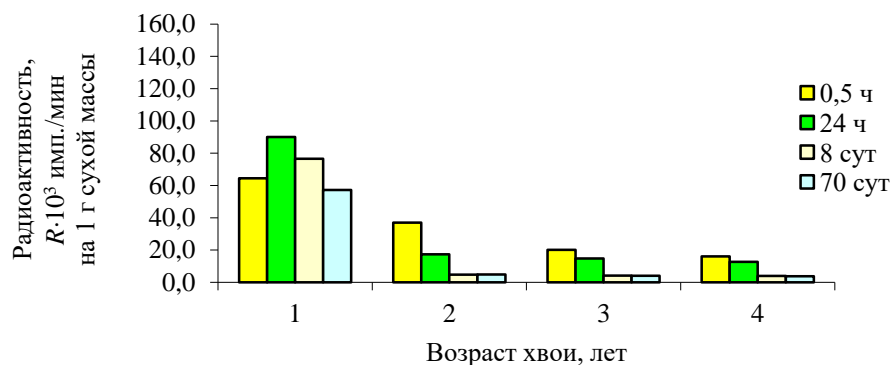
Известно, что фактическая реализация возможностей ассимиляционного аппарата прежде всего определяется потребностями морфологических процессов целого растения [10]. В нашем опыте после окончания подкормки у подростa началось активное перемещение ассимилированного <sup>14</sup>С из места его производства (хвоя прошлых лет) в органы потребления (в молодую хвою, ствол, корни). Из общего количества ассимилированных 2–4-летней хвоей  $126,8 \cdot 10^3$  имп./мин за первые сутки суммарно по системе ближнего (по флоэме листа)



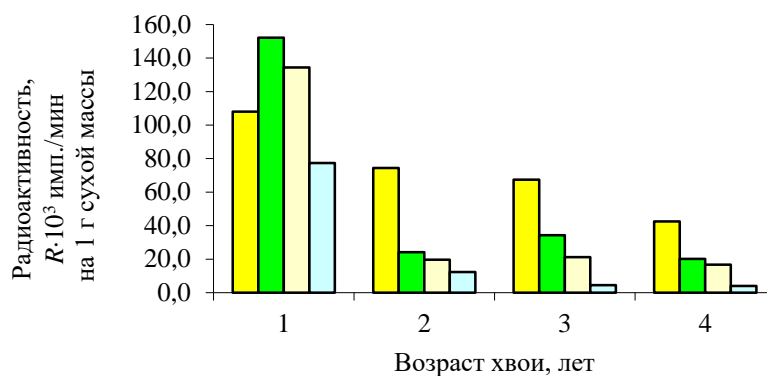
и дальнего (по ситовидным трубкам) транспорта в потребляющие органы дерева оттекло в контроле  $37,5 \cdot 10^3$  имп./мин, на участке с рубкой –  $88,4 \cdot 10^3$  имп./мин. За это время часть ассимилятов растениями была израсходована в процессе дыхательного метаболизма. Принимая во внимание, что ассимиляты (сахара) во флоэме и ситовитных трубках передвигаются со скоростью 40...150 см/ч [19, 27], можно сделать вывод, что на участке с рубкой у подроста процесс транспорта радионуклидов протекает более активно, чем в контрольном древостое при явном дефиците в нем света. За 8 сут из общего количества ассимилированных радиоактивных соединений на контрольном участке древостоя подростом на нужды отдельных органов было израсходовано  $117,3 \cdot 10^3$  имп./мин, на опытном участке –  $176,9 \cdot 10^3$  имп./мин. В молодую хвою поступило: в контроле –  $53,6 \cdot 10^3$  имп./мин, на участке с рубкой –  $39,6 \cdot 10^3$  имп./мин, в корни оттекло соответственно  $0,4 \cdot 10^3$  и  $2,2 \cdot 10^3$  имп./мин. Из оставшегося количества транспортируемых радионуклидов небольшая их часть была израсходована растениями на поддержание  $^{14}\text{C}$ -дыхания, другая – на процессы ксилогенеза и задержалась в транспортных путях. Таким образом, после проведения в ельниках черничных типов леса выборочных рубок формирование нового фотосинтетического аппарата у подпологовой ели значительно ускоряется. Это должно способствовать более раннему переходу его на самостоятельное углеродное питание. Наблюдающееся в опыте ускоренное поступление ассимилятов в корневую систему дерева привело к повышению ее работоспособности и роста. Об этом свидетельствуют как наши [9, 12, 18], так и полученные другими авторами [10, 11, 31] данные.

Известно, что часть поступивших в корни ассимилятов после их метаболизации вновь возвращается в виде корневых метаболитов в надземную часть дерева, где используется для синтеза сложных органических соединений. На прореженных участках ельника этот процесс у подроста происходит более активно, чем в контроле, и ассимиляты в виде корневых метаболитов раньше, чем в неухоженной части древостоя, возвращаются в надземную часть дерева (табл. 2). Через 72 сут в 1–4-летней хвое молодой ели на контрольном участке сохранилось  $40,3 \cdot 10^3$  имп./мин, на участке, пройденном рубкой, –  $31,5 \cdot 10^3$  имп./мин, в корнях – соответственно  $1,3 \cdot 10^3$  и  $0,5 \cdot 10^3$  имп./мин. Следовательно, при проведении выборочных рубок в ельниках черничных типов лесорастительных условий подрост, имея более высокие физиологические показатели по сравнению с контролем, должен расти активнее и отличаться от него повышенной жизнеспособностью. Проведенные замеры показали, через 6 лет после выборочной рубки среднепериодический прирост верхушечного побега у среднего подроста ели в контроле составлял  $3,4 \pm 0,5$  см, на участке с рубкой –  $5,3 \pm 0,7$  см, через 10 лет – соответственно  $3,3 \pm 0,5$  и  $6,7 \pm 1,0$  см.

*Второй опыт* по оттоку  $^{14}\text{C}$ , поставленный 02.VII.2003 г. у подроста ели (подрост сосны отсутствовал) в 52-летнем сосняке кустарничково-сфагновом, осушаемом посредством мелкой мелиорации, подтвердил ранее полученные данные о положительном влиянии рубок на скорость фотосинтеза и оттока  $^{14}\text{C}$ -ассимилятов у подроста ели [11, 15, 16, 18]. Согласно данным радиометрического анализа хвои, в период подкормки (0,5 ч) побегов радиоуглекислотой у контрольных растений 1–4-летней хвоей было ассимилировано  $137,70 \cdot 10^3$  имп./мин, на участке с рубками ухода –  $287,34 \cdot 10^3$  имп./мин, или в 2 раза больше. Хвоей текущего года таких соединений было ассимилировано соответственно  $37,0 \cdot 10^3$  и  $74,4 \cdot 10^3$  имп./мин., хвоей 2-го года – в 1,2–2 раза меньше, чем 1-летней хвоей, а хвоей 3-го и 4-го годов в 2–4 раза меньше, чем 1–2-летней хвоей (см. рисунок) [11].



a



б

Влияние рубок ухода на скорость оттока  $^{14}\text{C}$ -ассимилятов у подростка ели в 52-летнем кустарничково-сфагновом сосняке, осушаемом мелкой мелиорацией: *a* – контроль; *б* – участок с рубками ухода

The effect from improvement thinning on the outflow rate of  $^{14}\text{C}$ -assimilates in spruce undergrowth in a 52-year-old suffruticose bog moss pine forest drained by fine amelioration: *a* – control; *б* – site with improvement thinning

Несмотря на высокие темпы фотосинтеза формирование нового ассимиляционного аппарата у подростка ели в этом древостое к началу июля еще не закончилось. Об этом свидетельствует дальнейшее повышение его радиоактивности уже после окончания подкормки.

Спустя сутки радиоактивность молодой хвои дополнительно увеличилась еще на 34...53 %, причем особенно значительно в контроле. Радиоактивность хвои старших возрастов в результате оттока из нее ассимилятов за это время уменьшилась в 3 раза. Согласно полученным данным, молодая хвоя на участке с рубками ухода, достигнув к 10 июля половины своего размера, полностью перешла на самостоятельное углеродное питание и стала активным донором ассимилятов для дерева. К этому сроку ее радиоактивность уже уменьшилась на 15 %. В контроле переход молодой хвои на самостоятельное углеродное питание произошел только к 21 июля. Через 2 месяца остаточная радиоактивность хвои 1-го года у подростка в контроле составляла 49 %, 2–4-го годов – около 14 %, у опытных растений – соответственно 33 и 7 %. Наблюдаемая через 70 сут достаточно высокая радиоактивность молодой хвои могла, видимо, явиться результатом закрепления радионуклидов в конституционных структурах ее

клеточных стенок (в клетчатке). Это обстоятельство могло удерживать радиоактивные соединения от их транспорта. Такое подтверждение мы находим и в других работах [31].

Известно, что фактическая реализация возможностей ассимиляционного аппарата определяется прежде всего потребностями в его продукции морфологических процессов целого растения [10]. В нашем опыте после завершения подкормки накопившиеся в хвое в результате фотосинтеза ассимиляты, в силу их высокой лабильности, достаточно быстро начали транспортироваться к местам их потребления. Часть из них при этом была израсходована при поддержании  $^{14}\text{C}$ -дыхания для выработки энергии на осуществление физиологических и ростовых процессов, другая часть поступила в зоны потребления (молодую хвою, ствол, корни). Рубки ухода в молодом сосновом насаждении значительно усилили и ускорили эти процессы у молодой ели. Наиболее активно отток ассимилятов у подростка осуществлялся на участке с рубками ухода. За первые сутки в контроле из 2–4-летней хвои в другие органы оттекло  $28,3 \cdot 10^3$  имп./мин, у опытных растений –  $103,7 \cdot 10^3$  имп./мин, или в 3 раза больше. Часть ассимилятов за это время поступила в молодую хвою, где использовалась на формирование нового фотосинтетического аппарата, другая часть оттекла в ствол и корни и пошла на  $^{14}\text{C}$ -дыхательный метаболизм. В течение суток из общего количества транспортируемых ассимилятов в молодую хвою у контрольных растений дополнительно поступило  $25,6 \cdot 10^3$  имп./мин, у опытных растений –  $44,2 \cdot 10^3$  имп./мин, или соответственно 52 и 41 % [11]. Через 8 сут в результате оттока суммарная радиоактивность хвои у подкормленных радиоуглекислотой мутовок в контроле уменьшилась на 35 %, у опытных растений – на 71 %. За этот период у подростка в мелкие и проводящие корни на контрольном участке древостоя суммарно поступило  $0,20 \cdot 10^3$  имп./мин, на участке с рубкой –  $2,21 \cdot 10^3$  имп./мин. Спустя 70 сут после подкормки остаточная радиоактивность корней у опытных растений составляла  $1,1 \cdot 10^3$  имп./мин, у контрольных растений –  $1,35 \cdot 10^3$  имп./мин (табл. 3).

Таблица 3

**Влияние рубок ухода на распределение  $^{14}\text{C}$  у подростка ели в осушаемом 52-летнем сосняке кустарничково-сфагновом ( $R \cdot 10^3$ , имп./мин на 1 г абс. сухого вещества)**

Объект исследования	Контроль			Опыт		
	Время после экспозиции, сут					
	1	8	70	1	8	70
Корни:						
мелкие	Не опр.	0,15	0,96	Не опр.	1,63	0,81
проводящие	Не опр.	0,05	0,39	Не опр.	0,58	0,29
Кора	0,23	0,40	2,90	0,16	0,80	4,32
Древесина	0,18	0,63	5,18	0,14	1,16	16,10

За первые сутки в ствол контрольных и опытных елей поступило примерно равное количество радиоуглеродных соединений. В проводящих путях ствола (кора, древесина) спустя 8 сут у контрольных растений находилось  $1,03 \cdot 10^3$  имп./мин, у опытных растений –  $1,96 \cdot 10^3$  имп./мин, к периоду окончания опыта – соответственно 8,08 и  $20,42 \cdot 10^3$  имп./мин, т. е. у опытных елочек таких соединений было почти в 3 раза больше [11]. Можно полагать, что высокое

накопление радиоактивных соединений в древесине ствола у опытных растений в августе могло быть обусловлено активными ростовыми процессами в результате ксилогенеза, связанных с формированием нового увеличенного годичного кольца и закреплением радиоуглеродных соединений в конституционных структурах его клеточных стенок [11]. Эти данные показывают, что рубки ухода в осушаемых сфагновых сосняках при достаточной норме осушения у молодой ели значительно ускоряют не только формирование нового ассимиляционного аппарата и освобождение его от накопившихся продуктов фотосинтеза, но и снабжение ими активно работающих меристем – молодой хвои, корневой системы, камбия.

*Третий опыт* был заложен 30.V.1990 г. в 53-летнем березняке черничного типа, IV класса бонитета со вторым ярусом и подростом ели. В результате выявлены высокая интенсивность фотосинтеза, ускоренный постфотосинтетический отток из хвои и распределение по органам  $^{14}\text{C}$ -ассимилятов у подростка ели на участках с выборочной рубкой [10]. Данный древостой произрастает на слабоподзоленной легкосуглинистой почве. Состав древостоя первого яруса 7Б3Ос+С, второго 10Е. Высота березы – 14,8 м, осины – 15,2 м; диаметр – соответственно 12,1 и 14,1 см. Подрост представлен елью – 3,6 тыс. экз. на 1 га. На площади 12 га в осенне-зимний период проведена равномерно-постепенная опытная рубка путем равномерной вырубki лиственных пород. Сохранность подростка после рубки 76...90 %. Сомкнутость полога при полном облиствении березы и осины на контрольной секции составляла 0,9–1,0. На участке было подготовлено 4 секции с интенсивностью рубки по запасу 35, 50, 70 % с полнотой 0,7; 0,5 и 0,2 соответственно и контрольная. Площадь каждой секции – 0,4 га, ширина – 35...40 м, длина – 100...110 м. Состояние подростка после рубки хорошее и удовлетворительное. Подкормка радиоуглекислотой верхних мутовок проведена 30 мая перед началом вегетации растений [10].

Данные радиохимического анализа показали, что снижение полноты березового насаждения после выборочной рубки и увеличение в результате этого освещенности у подростка ели положительно сказалось на скорости накопления и постфотосинтетического оттока ассимилятов (табл. 4).

Измерение радиоактивности хвои, взятой с подкормленных мутовок сразу после экспонирования их в токе радиоактивной углекислоты (30.V), подтвердило, что в это время вся масса радиоуглерода у подростка в спелом березняке и на участках с выборочной рубкой находилась в хвое подкормленных мутовок. Всего за время подкормки 1–3-летней хвоей в контроле было ассимилировано  $53,2 \cdot 10^3$  имп./мин, у опытных елочек – в 1,5–2 раза больше (от  $82 \cdot 10^3$  до  $116,3 \cdot 10^3$  имп./мин) [10]. Максимальное количество радионуклидных соединений было ассимилировано хвоей 2-го года вегетации – соответственно  $27,9 \cdot 10^3$  и  $43,8...61,2 \cdot 10^3$  имп./мин; 3-летней хвоей за время фотосинтеза было поглощено на 8...9 % их меньше, чем 2-летней хвоей. Молодые побеги у подростка ели на всех участках к началу подкормки оставались недостаточно развитыми, хвоя на них была небольшой, имела бледнозеленый вид, указывающий на низкое содержание в ней фотосинтетических пигментов и слабый фотосинтез [9]. У контрольных растений за время подкормки (0,5 ч) этой хвоей из радиоактивной смеси в замкнутой системе было ассимилировано  $0,9 \cdot 10^3$ , у опытных –  $(2,2...5,0) \cdot 10^3$  имп./мин [10].

Таблица 4

Влияние интенсивности рубки на отток и распределение  $^{14}\text{C}$ -ассимилятов у среднего подростка ели в 53-летнем березняке черничном через 5 лет после постепенной рубки ( $R \cdot 10^3$ , имп./мин на 1 г абс. сухой массы)

Объект исследования	Опыт с интенсивностью рубки, %																																															
	Контроль									35									50									70																				
	0,5 ч				24 ч				8 сут				70 сут				0,5 ч				24 ч				8 сут				70 сут				0,5 ч				24 ч				8 сут				70 сут			
Хвоя:																																																
1-го года	0,9	1,0	118,4	38,2	2,2	1,9	99,1	9,7	5,0	5,2	83,3	10,9	4,9	4,1	77,5	18,8	0,9	1,0	118,4	38,2	2,2	1,9	99,1	9,7	5,0	5,2	83,3	10,9	4,9	4,1	77,5	18,8	0,9	1,0	118,4	38,2	2,2	1,9	99,1	9,7	5,0	5,2	83,3	10,9	4,9	4,1	77,5	18,8
2-го года	27,9	26,9	18,0	5,8	43,8	43,7	19,7	2,5	56,9	40,0	21,5	2,2	61,2	60,1	26,0	2,4	27,9	26,9	18,0	5,8	43,8	43,7	19,7	2,5	56,9	40,0	21,5	2,2	61,2	60,1	26,0	2,4	27,9	26,9	18,0	5,8	43,8	43,7	19,7	2,5	56,9	40,0	21,5	2,2	61,2	60,1	26,0	2,4
3-го года	24,4	19,9	12,5	3,6	36,1	35,4	12,1	1,8	50,9	40,3	7,2	1,9	50,2	43,9	7,9	1,8	24,4	19,9	12,5	3,6	36,1	35,4	12,1	1,8	50,9	40,3	7,2	1,9	50,2	43,9	7,9	1,8	24,4	19,9	12,5	3,6	36,1	35,4	12,1	1,8	50,9	40,3	7,2	1,9	50,2	43,9	7,9	1,8
Кора	0	0,1	0,1	0,5	0	0,1	0,4	0,4	0	0,3	0,6	0,2	0	0,3	0,4	0,4	0	0,1	0,1	0,5	0	0,1	0,4	0,4	0	0,3	0,6	0,2	0	0,3	0,4	0,4	0	0,1	0,1	0,5	0	0,1	0,4	0,4	0	0,3	0,6	0,2	0	0,3	0,4	0,4
Луб	0	0,2	0,3	0,5	0	0,4	0,6	0,7	0	0,8	1,0	0,9	0	0,8	1,0	1,0	0	0,2	0,3	0,5	0	0,4	0,6	0,7	0	0,8	1,0	0,9	0	0,8	1,0	1,0	0	0,2	0,3	0,5	0	0,4	0,6	0,7	0	0,8	1,0	0,9	0	0,8	1,0	1,0
Корни	0	0	0,8	2,2	0	0,2	1,2	0,7	0	0,4	1,5	0,9	0	0,4	1,4	0,8	0	0	0,8	2,2	0	0,2	1,2	0,7	0	0,4	1,5	0,9	0	0,4	1,4	0,8	0	0	0,8	2,2	0	0,2	1,2	0,7	0	0,4	1,5	0,9	0	0,4	1,4	0,8

Суммарное количество радионуклидных соединений, ассимилированных 2–3-летней хвоей, на секции с вырубкой 50 % запаса было примерно таким же, как и на секции, где было вырублено 70 % запаса ( $107,8 \cdot 10^3$  и  $114,4 \cdot 10^3$  имп./мин). На участке с 35 %-й интенсивностью рубки у подростка этими возрастами хвои было ассимилировано  $79,9 \cdot 10^3$  имп./мин, или на 46 % меньше, чем на секциях с 50- и 70 %-й интенсивностью рубки. После окончания подкормки из 2–3-летней хвои начался активный отток ассимилятов в зоны их потребления (в молодую хвою, ствол, корни). За первые сутки радиоактивность молодой хвои выросла: у контрольных растений – в 9 раз (от  $0,9 \cdot 10^3$  до  $8,1 \cdot 10^3$  имп./мин), у опытных растений – в 5 раз. За 8 сут из 2–3-летней хвои в эту хвою дополнительно поступило в контроле  $117,5 \cdot 10^3$  имп./мин [11], на секциях с рубкой (35, 50 и 70 %) – соответственно  $96,9 \cdot 10^3$ ;  $78,3 \cdot 10^3$  и  $72,6 \cdot 10^3$  имп./мин, что увеличило ее радиоактивность в 130, 44, 16 и 15 раз. Наблюдаемое ограниченное поступление радионуклидов в молодую хвою на участках с рубкой по сравнению с контролем объясняется ускоренным развитием ее на интенсивно разреженных секциях к этому сроку и значительной задержкой формирования ее в контроле и на секции с 35 %-й интенсивностью рубки. Через 2 мес остаточная суммарная радиоактивность 1–3-летней хвои в контроле и на опытных секциях (35, 50 и 70 %) составляла соответственно  $47,6 \cdot 10^3$ ;  $14 \cdot 10^3$ ;  $15 \cdot 10^3$  и  $23 \cdot 10^3$  имп./мин [10]. Максимальной радиоактивностью к этому сроку обладала молодая хвоя. Ее радиоактивность за период с 6 июня по 10 августа в контроле уменьшилась в 3 раза, на опытных секциях (35, 50, 70 %) в 10, 8 и 4 раза соответственно. Более высоким содержанием радионуклидов у опытных елочек отличались также кора и луб [11].

В корнях опытных растений радиуглеродные соединения появились уже через сутки после окончания подкормки, у контрольных растений они обозначились значительно позднее, чем у опытных. Обратный возврат корневых радиометаболитов из корней в надземные органы растений наиболее

активно происходил также на участках с рубками. Интенсивный фотосинтез, быстрое освобождение листьев от продуктов фотосинтеза у подпологовой ели на участках с рубкой способствовали ее ускоренному росту. Через 5 лет после выборочной рубки прирост верхушечных побегов у подростка по отношению к контролю и дорубочному периоду увеличился в зависимости от интенсивности рубки в 1,2–1,8 раза, а через 8 лет – в 1,3–2,7 раза (до 5,9...10,4 см). Наши опыты в 59-летнем березняке показали, что ширина годичного слоя у подростка ели через 5 лет после выборочной рубки была  $(0,41 \pm 0,02)$  мм, на участке с вырубкой 52 % запаса –  $(0,61 \pm 0,03)$  мм. Корреляционная связь оказалась достаточно устойчивой и тесной ( $r = 0,76 \pm 0,017$ ) [10, 11].

Активизация фотосинтеза и транспорта ассимилятов в корни и другие потребляющие органы у подпологовой ели на участках с выборочной рубкой наблюдалась нами в 59-летнем березняке черничном, а также в 13-летнем березняке по сравнению со 160-летним ельником [9, 10, 11, 15]. Низкий фотосинтез, задержка выхода ассимилятов из фотосинтезирующей клетки, ограниченный объем поступления их в работающие меристемы на слабо освещенных участках у подростка ели негативно влияли на фотосинтез и работу корней. Так, в ненарушенных рубкой насаждениях интенсивность фотосинтеза у подростка была в 2 раза ниже, а дыхание корней в 1,5 раза слабее, чем в разреженных секциях [10, 11, 17]. Многие отечественные и зарубежные авторы, изучавшие динамику оттока и распределения ассимилятов у растений, также указывают на стимулирующее действие света и тепла на эти процессы, на усиление работы надземных и подземных органов под действием этих экологических факторов [12, 15, 19, 20, 34].

#### *Заключение*

Подтверждено наличие причинно-следственной линейной связи для подростка ели между интенсивностью рубки в разных типах северных фитоценозов и соответствующей скоростью фотосинтеза и оттока  $^{14}\text{C}$ -ассимилятов. Показано, что выборочные рубки и рубки ухода в северных древостоях у подпологовой ели значительно ускоряют сроки формирования нового ассимиляционного аппарата, его освобождение от продуктов фотосинтеза, обеспечивая быстрое снабжение энергетическим материалом его активно работающие меристемы и повышая жизнеспособность и ростовые процессы. Установлено, что высокая интенсивность рубки (70 %), как и недостаточная, у подростка ели снижает интенсивность фотосинтеза, вызывает задержку выхода его продуктов из ассимилирующей клетки и поступление в зоны потребления. Сравнение полученных в разных типах леса результатов между собой показало, что при одинаковой интенсивности выборочные рубки для подростка ели в березняках черничных обеспечивают более высокий физиологический и лесоводственный эффекты, чем в ельниках, что, видимо, объясняется разным почвенным плодородием сравниваемых насаждений и различной ажурностью крон ели и березы, своеобразно удерживающих световой поток, поступающий под полог.

Отмечаемое в работе существование корреляции между скоростью фотосинтеза, оттока ассимилятов и скоростью роста верхушечных побегов дает возможность у подростка ели достаточно быстро (уже через 1–2 года после рубки) отслеживать уровень отзывчивости его фотосинтезирующих органов, прежде всего листьев, а также корневой системы на характер действия проводимых рубок. При этом не надо дожидаться получения конечного результата в виде

прироста побегов, который обычно наступает не раньше чем через 3–5 лет после рубки. Следовательно, такой важный физиологический параметр, как интенсивность накопления и оттока ассимилятов, позволяет рассматривать его в качестве перспективного фактора для получения ускоренных и качественных оценок эффективности не только выборочных рубок и рубок ухода для хвойного подроста, но и других лесохозяйственных мероприятий (осушения, внесения удобрений и др.).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев В.А.* Световой режим леса. Л.: Наука, 1975. 227 с.
2. *Андреева Т.Ф., Маевская С.Н., Воеводская С.Ю.* Взаимосвязь фотосинтеза, азотного обмена в различных условиях фосфорного и азотного питания растений горчицы // Физиология растений. 1992. Т. 39, вып. 6. С. 680–686.
3. *Беляева Н.В., Грязькин А.В., Гуталь М., Калинин П.М.* Влияние технологии несплошных рубок и состава материнского древостоя на успешность возобновления ели // Лесн. журн. 2013. № 5. С. 39–46. (Изв. высш. учеб. заведений).
4. *Беляева Н.В., Грязькин А.В., Казн И.А.* Влияние выборочных рубок на развитие нижних ярусов растительности // Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 2012. № 3. С. 34–41.
5. *Веретенников А.В., Кузьмин Ю.И.* Транспорт, распределение и потребление  $^{14}\text{C}$ -ассимилятов у сосны обыкновенной при различном водном режиме торфяной почвы // Лесоведение. 1977. № 3. С. 34–41.
6. *Вознесенский В.Л., Заленский О.В., Семихатова О.А.* Методы исследования фотосинтеза и дыхания растений. М.; Л.: Наука, 1965. 305 с.
7. *Григорьев А.А.* Оценка состояния подроста ели под пологом древостоев в разных типах леса // Изв. СПбЛТА. 2008. № 183. С. 7–13.
8. *Зарубина Л.В.* Состояние естественного возобновления ели в мелколиственных лесах на Севере России // Лесн. журн. 2016. № 3. С. 52–65. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.3.52
9. *Зарубина Л.В., Коновалов В.Н.* Влияние рубок на фотосинтез и отток  $^{14}\text{C}$ -ассимилятов у подроста ели в березняках черничных // Вестн. Помор. ун-та. Сер.: Естеств. науки. 2011. № 3. С. 49–54.
10. *Зарубина Л.В., Коновалов В.Н.* Эколого-физиологические особенности ели в березняках черничных: моногр. Архангельск: САФУ, 2014. 378 с.
11. *Зарубина Л.В., Коновалов В.Н.* Эколого-биологические особенности ели в северотаежных фитоценозах (состояние, антропогенное влияние): моногр. Архангельск: САФУ, 2015. 186 с.
12. *Зарубина Л.В., Коновалов В.Н., Феклистов П.А., Клевцов Д.Н.* Динамика дыхания корней сосны и ели в северотаежных фитоценозах // Вестн. Сев. (Арктич.) федер. ун-та. Сер.: Естеств. науки. 2014. № 2. С. 52–60.
13. *Кириций Д.А., Франтийчук В.В., Стасик О.О.* Содержание растворимых углеводов и старение флагового листа пшеницы при экспериментальном блокировании оттока ассимилятов // Физиология растений и генетика. 2015. Т. 47, № 2. С. 136–146.
14. *Климов С.В., Трунова Т.И., Мокроносков А.Т.* Механизм адаптации растений к неблагоприятным условиям окружающей среды через изменение донорно-акцепторных отношений // Физиология растений. 1990. Т. 37, вып. 5. С. 1024–1035.
15. *Коновалов В.Н., Зарубина Л.В.* Эколого-физиологические особенности хвойных на осушаемых землях: моногр. Архангельск: САФУ, 2010. 295 с.
16. *Коновалов В.Н., Зарубина Л.В.* Эколого-физиологические особенности хвойных на удобренных почвах: моногр. Архангельск: САФУ, 2011. 338 с.

17. Коновалов В.Н., Зарубина Л.В. Оценка жизнеспособности ели в березняке черничном в процессе его возрастного развития // Лесн. журн. 2016. № 5. С. 44–60. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.5.44
18. Коновалов В.Н., Тараканов А.М., Зарубина Л.В. Влияние рубок ухода на отток  $^{14}\text{C}$ -ассимилятов у подростка ели на осушаемых землях // Наука – северному региону: сб. науч. тр. Архангельск: АГТУ, 2010. Вып. 83. С. 10–15.
19. Курсанов А.Л. Эндогенная регуляция транспорта ассимилятов и донорно-акцепторные отношения у растений // Физиология растений. 1984. Т. 31, вып. 3. С. 579–595.
20. Малкина И.С. Газообмен и образование ассимилятов в разновозрастной хвое сосны обыкновенной // Лесоведение. 1984. № 6. С. 29–33.
21. Мельников Е.С., Беляева Н.В. Функциональные изменения в лесном биогеоценозе после комплексного ухода за лесом // Лесоведение. 2008. № 6. С. 22–29.
22. Мокронос А.Т. Онтогенетический аспект фотосинтеза. М.: Наука, 1981. 194 с.
23. Роньжина Е.С., Мокронос А.Т. Донорно-акцепторные отношения и участие цитокининов в регуляции транспорта и распределения органических веществ в растениях // Физиология растений. 1994. Т. 41, вып. 3. С. 448–459.
24. Судачкова Н.Е., Милютин И.Л., Романова Л.И. Биохимическая адаптация хвойных к стрессовым условиям Сибири. Новосибирск: Акад. изд-во «ГЕО», 2012. 178 с.
25. Судницына Т.Н. Влияние рубок на морфоструктуру хвои, рост и азотное питание сохраненного подростка ели в березняках южной тайги // Лесоведение. 2006. № 4. С. 61–67.
26. Судницына Т.Н., Озрина Р.Д. Особенности азотного и углеродного питания подростка ели при адаптации его к условиям вырубki // Лесоведение. 1983. № 4. С. 19–30.
27. Тарчевский И.А. Основы фотосинтеза: учеб. пос. М.: Высш. шк., 1977. 254 с.
28. Цельникер Ю.Л. Физиологические основы теневыносливости древесных растений. М.: Наука, 1978. 215 с.
29. Цельникер Ю.Л. Влияние интенсивности света на параметры структуры кроны ели // Лесоведение. 1995. № 5. С. 73–78.
30. Чиков В.И. Фотосинтез и транспорт ассимилятов. М.: Наука, 1987. 186 с.
31. Юшков В.И., Завьялова Н.С. Структура и функция ассимиляционного аппарата молодых растений кедрa сибирского при разных световых режимах // Экология. 1988. № 4. С. 18–24.
32. Lieffers V.J., Messier C., Stadt K.J., Gendron F., Comeau P.G. Predicting and Managing Light in the Understory of Boreal Forests // Canadian Journal of Forest Research. 1999. Vol. 29, no. 6. Pp. 796–811. DOI: 10.1139/x98-165
33. Lieffers V.J., Stadt K.J. Growth of Understory *Piceaglauca*, *Calamagrostiscanadensis*, and *Epilobiumangustifolium* in Relation to Overstory Light Transmission // Canadian Journal of Forest Research. 1994. Vol. 24, no. 6. Pp. 1193–1198. DOI: 10.1139/x94-157
34. Sirois D.L., Cooper G.R. The Influence of Light, Temperature and Atmospheric  $\text{CO}_2$  Concentration on Rate of Apparent Photosynthesis of a Mature Apple Tree // Bull. Agr. Exp. Stat. Univ. Me. 1964. Vol. 626. Pp. 1–36.



UDC 630\*221.045

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.40

**Outflow and Distribution of Spruce <sup>14</sup>C-Assimilates after Selective Felling in the Northern Taiga Phytocenosis***V.N. Konovalov<sup>1</sup>, Doctor of Agricultural Sciences, Professor**L.V. Zarubina<sup>2</sup>, Doctor of Agricultural Sciences, Professor*<sup>1</sup>Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation;

e-mail: v.konovalov@narfu.ru

<sup>2</sup>Vologda State Dairy Farming Academy named after N.V. Vereshchagin, ul. Schmidta, 2, Molochnoe, Vologda, 160555, Russian Federation; e-mail: Liliya270975@yandex.ru

The problem of increasing productivity of northern forests can be positively solved by rational felling system. Physiological methods of research used in forestry and, first of all, the study of tree donor-acceptor interrelations allow us to get the necessary information about the rational felling system effectiveness before the shoot increment. Over the years the effect from final felling and improvement thinning on the rate of photosynthesis, accumulation, outflow and movement of <sup>14</sup>C-assimilates in uneven spruce undergrowth needles had been studied. Needle samples were taken from the uneven-aged forest stands of different composition growing in the soils of different mechanical composition. This was done in order to speed up getting the relevant information about chosen felling system. The study objects were suffruticose bog moss pine forest with spruce undergrowth drained by fine amelioration, spruce and birch forests of bilberry forest types with varying thinning intensity. It was found that under the canopy of mature stands illumination does not exceed 8–12 % of open space and is not biologically normal for spruce. Due to the lack of light, intensity of photosynthesis in spruce undergrowth decreases; donor-acceptor interrelations between the above ground and underground systems are disturbed; the root system operation is disordered; the formation of assimilation apparatus is delayed. Selective felling and improvement thinning intensify root system and assimilation apparatus operation through increasing the flow of sunlight and heat under the canopy; enhance donor-acceptor interrelations; accelerate the release of the assimilation apparatus from photosynthesis products and its transition to the independent carbon nutrition; favorably affect the growth processes. High intensity of the first felling (up to 70 %) of spruce undergrowth, as well as its absence, adversely affects the listed processes. It has been established that physiological methods of research used in forestry and, first of all, the study of tree donor-acceptor interrelations allow us to get the necessary information about the effectiveness of selected measure before the shoot increment.

**For citation:** Konovalov V.N., Zarubina L.V. Outflow and Distribution of Spruce <sup>14</sup>C-Assimilates after Selective Felling in the Northern Taiga Phytocenosis. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2019, no. 2, pp. 40–55. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.40

**Keywords:** spruce, bog moss pine forest, uneven-aged bilberry birch forests, thinning intensity, illumination, photosynthesis, outflow of <sup>14</sup>C-assimilates, donor-acceptor interrelations.

## REFERENCES

1. Alekseyev V.A. *Light Mode of Forest*. Leningrad, Nauka Publ., 1975. 227 p.
2. Andreyeva T.F., Mayevskaya S.N., Voyevodskaya S.Yu. Relationship between Photosynthesis and Nitrogen Fixation under Different Conditions of Phosphorous and Nitrogenous Nutrition of Mustard Plants. *Fiziologiya rasteniy*, 1992, vol. 39, iss. 6, pp. 680–686.

3. Belyaeva N.V., Gryazkin A.V., Gutal M., Kalinsky P.M. Influence of Partial Cutting Technology and Composition of Parent Stand on Spruce Regeneration. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2013, no. 5, pp. 39–46.
4. Belyaeva N.V., Gryazkin A.V., Kazi I.A. Influence of Selective Thinning on Development of Vegetation Understorey. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy Vestnik* [Forestry Bulletin], 2012, no. 3, pp. 34–41.
5. Veretennikov A.V., Kuz'min Yu.I. Transport, Distribution and Consumption of  $^{14}\text{C}$ -Assimilates from Scots Pine at Different Water Regime of Peat Soil. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 1977, no. 3, pp. 34–41.
6. Voznesenskiy V.L., Zalenskiy O.V., Semikhatova O.A. *Research Methods for Photosynthesis and Plant Respiration*. Moscow, Nauka Publ., 1965. 305 p.
7. Grigor'yeva A.A. Assessment of Spruce Undergrowth under the Canopy of Stands in Different Forest Types. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii*, 2008, no. 183, pp. 7–13.
8. Zarubina L.V. Natural Regeneration of Spruce in the Small-Leaved Forests in the North of Russia. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2016, no. 3, pp. 52–65. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.3.52
9. Zarubina L.V., Konovalov V.N. Influence of Forest Felling on Photosynthesis and  $^{14}\text{C}$ -Otosynthates Discharge in Spruce Understorey of Blueberry Birch Forests. *Vestnik Pomorskogo universiteta. Seriya: Estestvennyye nauki*, 2011, no. 3, pp. 49–54.
10. Zarubina L.V., Konovalov V.N. *Ecological and Physiological Features of Spruce in Bilberry Birch Forests: Monography*. Arkhangelsk, NArFU Publ., 2014. 378 p.
11. Zarubina L.V., Konovalov V.N. *Ecological and Biological Features of Spruce in the Northern Taiga Phytocenosis (State and Anthropogenic Influence): Monography*. Arkhangelsk, NArFU Publ., 2015. 186 p.
12. Zarubina L.V., Konovalov V.N., Feklistov P.A., Klevtsov D.N. Dynamics of Root Respiration in Pine and Spruce Trees of Northern Taiga Plant Communities. *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta. Seriya: Estestvennyye nauki*, 2014, no. 2, pp. 52–60.
13. Kiriziy D.A., Frantiychuk V.V., Stasik O.O. Content of Soluble Carbohydrates and Senescence of Wheat Flag Leaf Induced by Experimental Assimilates Outflow Interruption. *Fiziologiya rasteniy i genetika* [Plant Physiology and Genetics], 2015, vol. 47, no. 2, pp. 136–146.
14. Klimov S.V., Trunova T.I., Mokronosov A.T. The Mechanism of Plant Adaptation to Adverse Environmental Conditions by Changing the Donor-Acceptor Relations. *Fiziologiya rasteniy*, 1990, vol. 37, iss. 5, pp. 1024–1035.
15. Konovalov V.N., Zarubina L.V. *Ecological and Physiological Features of Conifers on Drained Lands: Monography*. Arkhangelsk, NArFU Publ., 2010. 295 p.
16. Konovalov V.N., Zarubina L.V. *Ecological and Physiological Features of Conifers on Fertilized Soils: Monography*. Arkhangelsk, NArFU Publ., 2011. 338 p.
17. Konovalov V.N., Zarubina L.V. Viability Evaluation of Spruce in a Bilberry Birch Forest in the Process of Its Developmental Age. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2016, no. 5, pp. 44–60. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.5.44
18. Konovalov V.N., Tarakanov A.M., Zarubina L.V. Influence of Improvement Thinning on Outflow of  $^{14}\text{C}$ -Assimilates from Spruce Undergrowth on Drained Lands. *Collection of Academic Papers "Science to the Northern Region"*. Arkhangelsk, AGTU Publ., 2010, iss. 83, pp. 10–15.
19. Kursanov A.L. Endogenous Regulation of Assimilate's Transport and Donor-Acceptor Relationships in Plants. *Fiziologiya rasteniy*, 1984, vol. 31, iss. 3, pp. 579–595.
20. Malkina I.S. Gas Exchange and Formation of Assimilates in Uneven Aged Needles of Scots Pine. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 1984, no. 6, pp. 29–33.

21. Melnikov E.S., Belyaeva N.V. Functional Changes in the Forest Biogeocenosis after the Comprehensive Forest Tending. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2008, no. 8, pp. 22–29.
22. Mokronosov A.T. *Ontogenetic Aspect of Photosynthesis*. Moscow, Nauka Publ., 1981. 194 p.
23. Ron'zhina E.S., Mokronosov A.T. Donor-Acceptor Relationships and Involvement of Cytokinins in Transport Regulation and Distribution of Organic Substances in Plants. *Fiziologiya rasteniy*, 1994, vol. 41, iss. 3, pp. 448–459.
24. Sudachkova N.E., Milutina I.L., Romanova L.I. *Biochemical Adaptation of Conifers to Stress Conditions in Siberia*. Novosibirsk, GEO Publ., 2012. 178 p.
25. Sudnitsyna T.N. Effect from Logging on Needle Morphostructure, Growth and Nitrogen Nutrition of Spruce Undergrowth in Birch Forests of the Southern Taiga. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2006, no. 4, pp. 61–67.
26. Sudnitsyna T.N., Ozrina R.D. Features of Nitrogen and Carbon Nutrition of Spruce Undergrowth in Adaptation to the Cutting Conditions. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 1983, no. 4, pp. 19–30.
27. Tarchevskiy I.A. *Basics of Photosynthesis: Educational Textbook*. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1977. 254 p.
28. Tsel'nyker Yu.L. *Physiological Basis of Shade-Tolerant Woody Plants*. Moscow, Nauka Publ., 1978. 215 p.
29. Tsel'nyker Yu.L. Effect from Light Intensity on the Parameters of Spruce Crown Structure. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 1995, no. 5, pp. 73–78.
30. Chikov V.I. *Photosynthesis and Transport of Assimilates*. Moscow, Nauka Publ., 1987. 186 p.
31. Yushkov V.I. Structure and Function of Assimilation Apparatus of Young Siberian Pine Trees. Ed. by V.I. Yushkov, N.S. Zav'yalova. *Ekologiya*, 1988, no. 4, pp. 18–24.
32. Lieffers V.J., Messier C., Stadt K.J., Gendron F., Comeau P.G. Predicting and Managing Light in the Understory of Boreal Forests. *Canadian Journal of Forest Research*, 1999, vol. 29, no. 6, pp. 796–811. DOI: 10.1139/x98-165
33. Lieffers V.J., Stadt K.J. Growth of Understory *Piceaglauca*, *Calamagrostiscanadensis*, and *Epilobiumangustifolium* in Relation to Overstory Light Transmission. *Canadian Journal of Forest Research*, 1994, vol. 24, no. 6, pp. 1193–1198. DOI: 10.1139/x94-157
34. Sirois D.L., Cooper G.R. The Influence of Light, Temperature and Atmospheric CO<sub>2</sub> Concentration on Rate of Apparent Photosynthesis of a Mature Apple Tree. *Bull. Agr. Exp. Stat. Univ. Me.*, 1964, vol. 626, pp. 1–36.

Received on June 08, 2018

---

УДК 582.475.2:631.524.82:631.524.5  
DOI:10.17238/issn0536-1036.2019.2.56

## ИЗМЕНЧИВОСТЬ МОРФОСТРУКТУРНЫХ ПРИЗНАКОВ ЕЛИ РАЗНОГО ВОЗРАСТА В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

*С.Н. Тарханов, д-р биол. наук*

*Е.А. Пинаевская, мл. науч. сотр.*

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лавёрова РАН, наб. Северной Двины, д. 23, г. Архангельск, Россия, 163000; e-mail: tarkse@yandex.ru

Таежным ельникам присущи большая возрастная изменчивость и разнообразная морфометрическая структура, от которых зависят таксационные характеристики древостоев в определенных лесорастительных условиях. Цель исследования – изучение изменчивости морфоструктурных показателей древостоев ели разного возрастного состояния для выявления особенностей их роста и развития на севере Архангельской области. Объектами исследований являлись ельники черничные свежие плесецкой (63° с.ш., 40° в.д.), пинежской (64...65° с.ш., 43...44° в.д.) и онежской (64° с.ш., 38° в.д.) популяций. На пробных площадях были сформированы выборки из 25 вступающих в стадию семеношения относительно «молодых» ( $g_1$ ) и «средневозрастных» ( $g_2$ ) деревьев, у которых определяли размеры ствола и кроны, размеры и число боковых охвоенных побегов, длину и предельный возраст хвои в нижней части кроны, длину и массу у 10 «зрелых» шишек в воздушно-сухом состоянии и коэффициент формы их семенных чешуй. Уровни индивидуальной изменчивости признаков оценивали по эмпирической шкале С.А. Мамаева. В разных популяциях выявлена тенденция снижения индивидуальной вариабельности высоты и диаметра ствола на высоте 1,3 м, абсолютной протяженности и диаметра кроны в старшей возрастной группе деревьев ( $g_2$ ) по сравнению с более молодой ( $g_1$ ). Вероятно, это обусловлено более высокой чувствительностью молодых деревьев к действию факторов внешней среды. Установлены корреляции диаметра ствола с возрастом в пределах выборок средневозрастных ( $r = 0,82...0,92$ ;  $p < 0,05$ ) и молодых ( $r = 0,48...0,89$ ;  $p < 0,05$ ) генеративных деревьев. Достоверные связи диаметра кроны с возрастом ( $r = 0,40...0,62$ ) представленных популяций выявлены только в старшей возрастной группе деревьев ( $g_2$ ). В пинежской популяции большее число «межмутовчатых» побегов формируется у молодых генеративных деревьев ( $g_1$ ), в онежской – у средневозрастных ( $g_2$ ). Более длинная хвоя в нижней части кроны образуется у средневозрастных деревьев. В онежской популяции у более молодых деревьев ели ( $g_1$ ) длина побегов значительно меньше, а предельная продолжительность жизни хвои – больше по сравнению со средневозрастными экземплярами ( $g_2$ ). Уровни индивидуальной изменчивости длины и массы шишки соответствуют лимитам, установленным С.А. Мамаевым для ели на Урале. Выявлено: длина и масса шишки в пинежской популяции в среднем значительно меньше по сравнению с онежской и плесецкой популяциями.

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках государственного задания Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лавёрова РАН (№ ГР АААА-А18-118011690221-0).

**Для цитирования:** Тарханов С.Н., Пинаевская Е.А. Изменчивость морфоструктурных признаков ели разного возраста в условиях севера Архангельской области // Лесн. журн. 2019. № 2. С. 56–66. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.56

**Ключевые слова:** ель, популяция, изменчивость, возраст древостоя, возрастное состояние ( $g_1$ ,  $g_2$ ), морфоструктурные признаки, Архангельская область.

### *Введение*

Рациональное использование лесных ресурсов должно основываться на всестороннем исследовании закономерностей формирования, роста и продуктивности древостоев разного возраста. Вопрос о возрастной изменчивости таежных лесов сложен и недостаточно изучен. На Европейском Севере ельники являются основным зональным типом лесной растительности. Известно, что они характеризуются в основном разновозрастной структурой [2, 3, 12, 16]. Изменение возрастных показателей древостоя является критерием, определяющим наступление климаксового состояния [6, 19]. Продолжительность жизни, возраст вступления в репродуктивную фазу, периодичность и интенсивность семеношения определяют естественное возобновление и процессы формирования еловых древостоев в различных лесорастительных условиях [1, 5, 15]. Морфоструктурные характеристики отражают динамику развития отдельных деревьев и формирования древостоя в целом. С одной стороны, индивидуальная изменчивость является результатом наследственных различий деревьев, с другой – расхождением в условиях жизни, причем первый фактор имеет наибольшее значение.

Ранее нами установлено [13], что уровни эндогенной изменчивости количественных признаков вегетативной сферы ели (на организменном уровне), например размеры бокового побега в пределах одного и того же года, подвержены значительным колебаниям. Следовательно, в один и тот же год эндогенная вариабельность морфоструктурных признаков ели зависит от индивидуальных особенностей деревьев и связана с нормой реакции генотипа на изменения внешних условий. При этом признаки, имеющие более низкую эндогенную изменчивость, например длина хвои, сохраняют свою относительную стабильность на разных возрастных стадиях. По мнению авторов [10], это может свидетельствовать о функциональной важности признака и указывает на довольно жесткую наследственную программу его индивидуального развития. Морфоструктурные признаки, отличающиеся более высоким уровнем эндогенной вариабельности, сохраняют его в разные годы. Ранее было показано, что диапазоны коэффициентов возрастной вариации морфоструктурных признаков меньше (хотя и не каждый год), чем эндогенной, но больше – чем индивидуальной. Однако в среднем уровни индивидуальной и эндогенной изменчивости ели по типу варьирующего признака довольно близки [13]. Это подтверждает результаты, полученные С.А. Мамаевым [4], о сходстве уровней эндогенной и индивидуальной изменчивости морфологических признаков видов семейства Pinaceae.

Цель работы – изучение изменчивости морфоструктурных показателей ели разного возрастного состояния в ельниках черничных свежих для выявления особенностей их роста и развития на севере Архангельской области.

#### *Объекты и методы исследования*

Объектами исследования являлись ельники черничные свежие на севере Архангельской области, произрастающие на подзолистых почвах, верхняя часть профиля которых представляет собой супесь, нижняя – суглинок, в том числе карбонатный. Ельники представлены древостоями смешанного состава (7...9Е 1...2С 1...2Б ед. Ос), IV класса бонитета, полнотой 0,6...0,8. На пробных площадях сформированы выборки из вступающих в стадию семеношения относительно «молодых» ( $g_1$ ) и «средневозрастных» ( $g_2$ ) генеративных деревьев с более обильными (на год наблюдения и для данных участков) урожаями

шишек. В плесецкой популяции ( $63^\circ$  с. ш.,  $40^\circ$  в. д.) выборки деревьев образованы в возрасте 45–80 лет ( $g_1$ ) и 140–210 лет ( $g_2$ ); в пинежской ( $64...65^\circ$  с. ш.,  $43...44^\circ$  в. д.) – соответственно 40–65 лет ( $g_1$ ) и 100–190 лет ( $g_2$ ); в онежской ( $64^\circ$  с. ш.,  $38^\circ$  в. д.) – 30–60 лет ( $g_1$ ) и 70–110 лет ( $g_2$ ). При определении необходимого объема выборок руководствовались полученными нами ранее результатами по эндогенной и индивидуальной изменчивости морфометрических признаков с учетом 5 %-го уровня значимости средней величины, хотя при высокой вариации допускался и 10 %-й уровень [14]. У 25 деревьев разного возрастного состояния ( $g_1$  и  $g_2$ ) определяли высоту ( $H$ ) и диаметр ствола ( $d$ ) на высоте 1,3 м, абсолютную протяженность кроны ( $L_k$ ) и ее диаметр ( $D_k$ ). На ветвях первого порядка у 20 однолетних боковых побегов в нижней части кроны определяли их длину ( $L_{бп}$ ) и диаметр ( $D_{бп}$ ), число побегов в «мутовке» ( $N_m$ ) и «междутовочных» побегов ( $N$ ), длину ( $L_x$ ) и предельный возраст ( $A_n$ ) хвои. Отбирали по 10 шишек (урожая прошлого года) с 14...25 деревьев каждого возрастного состояния. Определяли длину ( $L_{ш}$ ) и массу ( $M_{ш}$ ) шишки в воздушно-сухом состоянии, коэффициент «вытянутости» семенных чешуй ( $C_p$ ) [7]. Уровни изменчивости признаков оценивали по эмпирической шкале С.А. Мамаева [4]. При сравнении одноименных признаков использовали критерии Фишера  $F$  и Стьюдента  $t$  [11].

#### *Результаты исследования и их обсуждение*

Полученные результаты показали, что в более молодом ельнике (онежская популяция) уровень индивидуальной изменчивости возраста деревьев (в общей совокупности) меньше (коэффициент изменчивости  $C.V. = 27,5\%$ ) по сравнению с более старыми древостоями (плесецкая и пинежская популяции), у которых он очень высокий ( $C.V. = 47\%$ ). Коэффициенты вариации индивидуального возраста деревьев ели довольно близки по величине к литературным данным для разновозрастных древостоев ( $C.V. = 22...44\%$ ) [3]. В пределах выборок деревьев разных возрастных состояний коэффициенты изменчивости возраста значительно меньше:  $C.V. = 13...17\%$  ( $g_1$ ) и  $C.V. = 11...20\%$  ( $g_2$ ) (табл. 1).

Изменчивость морфоструктурных признаков в процессе онтогенеза определяется наследственными свойствами деревьев и влиянием внешних факторов среды. Одним из главных факторов является освещенность, которая в свою очередь связана со ступенчато-вертикальной сомкнутостью древесного полога. Лучшая освещенность способствует процессам сексуализации побегов. Ель вступает в репродуктивную фазу в молодом возрасте, хотя у разных деревьев, в связи с их наследственными особенностями, в разных типах леса этот период может сильно колебаться. В пределах выборок деревьев по возрастному состоянию уровни индивидуальной изменчивости высоты колеблются от низкого ( $C.V.$  – менее 12 %) до повышенного ( $C.V.$  – менее 30 %), диаметра ствола – от среднего ( $C.V.$  – менее 20 %) до повышенного (более 30 %). Параметры кроны характеризуются индивидуальной вариабельностью в диапазоне от низкого до высокого ( $C.V.$  – более 30 %) уровня (протяженность кроны) и от среднего до повышенного уровня (диаметр кроны). Длина и диаметр однолетних боковых побегов имеют средний и повышенный уровень индивидуальной изменчивости. Меньше всего проявляются индивидуальные различия деревьев ели по длине и предельной продолжительности жизни хвои (низкий, средний уровень), а больше всего (более 40 %) – по числу междутовочных побегов (очень высокий уровень) (табл. 1).

Таблица 1

**Индивидуальная изменчивость морфоструктурных признаков деревьев  
( $n = 25$  шт.) и охвоенных побегов ели разного возрастного состояния ( $g_1, g_2$ )**

Возрастное состояние	Показатель	$A_d$ , лет	$H$ , м	$d$ , см	$L_k$ , м	$D_k$ , м	$L_{бп}$ , см	$D_{бп}$ , мм	$L_x$ , мм	$A_{п.}$ , лет	$N_m$ , шт.	$N$ , шт.
<i>Пинежская популяция</i>												
$g_1$	min	40	6,0	10,0	4,1	2,0	2,95	0,97	11,4	6,2	0,4	0,0
	max	65	15,0	21,0	13,3	4,5	7,80	2,94	18,7	11,7	2,7	3,1
	<i>C.V.</i> , %	12,9	24,1	16,8	27,9	20,3	22,8	27,3	12,2	14,2	36,7	88,8
$g_2$	min	100	13,0	26,0	11,5	5,0	2,40	1,04	12,0	7,1	0,8	0,1
	max	190	21,5	62,0	19,3	9,0	6,34	2,08	19,9	12,1	2,2	1,2
	<i>C.V.</i> , %	20,0	11,0	25,2	12,7	19,5	22,2	16,3	13,4	12,3	21,5	66,7
<i>Плесецкая популяция</i>												
$g_1$	min	45	10,0	10,0	8,5	2,0	3,34	1,08	11,8	4,9	0,7	0,2
	max	80	15,0	23,0	20,8	5,0	6,36	2,18	20,5	11,4	2,1	2,1
	<i>C.V.</i> , %	17,4	11,5	19,8	20,7	18,9	16,0	19,1	12,5	15,9	23,5	57,0
$g_2$	min	140	17,5	26,0	14,0	3,0	2,95	1,16	11,6	6,1	0,6	0,1
	max	210	24,5	47,0	21,6	6,0	6,34	2,09	17,6	11,2	2,0	2,0
	<i>C.V.</i> , %	12,1	7,4	16,3	9,9	16,5	19,8	17,9	10,5	15,0	28,8	70,2
<i>Онежская популяция</i>												
$g_1$	min	30	5,0	8,0	3,6	2,0	2,78	1,10	12,1	7,3	0,5	0,0
	max	60	17,5	22,0	14,9	6,3	7,33	2,68	17,4	12,8	2,9	1,6
	<i>C.V.</i> , %	16,3	27,8	24,3	34,2	27,4	23,6	22,1	9,9	14,3	28,4	112,7
$g_2$	min	70	20,0	31,0	3,2	3,5	3,10	1,39	13,3	5,9	1,2	0,1
	max	110	27,0	62,0	24,2	9,0	8,02	2,39	19,2	12,0	2,2	1,8
	<i>C.V.</i> , %	11,4	9,1	22,1	20,5	23,5	20,2	16,2	10,2	16,2	16,8	74,1

Примечание.  $A_d$  – возраст дерева.

Можно отметить некоторую тенденцию снижения индивидуальной вариативности в старшей возрастной группе ( $g_2$ ) по сравнению с более молодой ( $g_1$ ) для высоты и диаметра ствола, протяженности и диаметра кроны деревьев (во всех изучаемых популяциях), а также морфоструктурных показателей охвоенных побегов (в пинежской популяции). По-видимому, в молодом возрасте деревья более чувствительны к влиянию факторов внешней среды. Однако в более благоприятных климатических условиях эта тенденция не проявляется в отношении таких признаков, как длина и число боковых побегов (плесецкая популяция), длина и продолжительность жизни хвои (онежская популяция).

Различия между выборками деревьев разного возрастного состояния ( $g_1$  и  $g_2$ ) в исследуемых популяциях по высоте, диаметру ствола, протяженности и диаметру кроны достоверны на 0,1 %-м уровне значимости ( $t = 4,55 \dots 20,42$ ;  $t_{0,001} = 3,74$ ) (рис. 1).

Для познания закономерностей роста необходимо выявить корреляции основных таксационных и морфоструктурных показателей с возрастом деревьев. В пределах выборок молодых генеративных деревьев ( $g_1$ ) установлены достоверные зависимости высоты ( $r = 0,53 \pm 0,18 \dots 0,60 \pm 0,17$  – плесецкая и онежская популяции) и диаметра ствола на высоте 1,3 м ( $r = 0,48 \pm 0,18 \dots 0,89 \pm 0,10$  – пинежская, плесецкая и онежская популяции) от их возраста. В выборках более старых деревьев ( $g_2$ ) связь высоты и возраста прослеживается только в онежской популяции ( $r = 0,74 \pm 0,14$ ). Между диаметром ствола и возрастом деревьев установлена тесная корреляция во всех популяциях ( $r = 0,82 \pm 0,12 \dots 0,92 \pm 0,08$ ). Таким образом, связь высоты ствола и возраста более выражена в выборках более молодых генеративных деревьев ели, а диаметра ствола и возраста – в более старых.

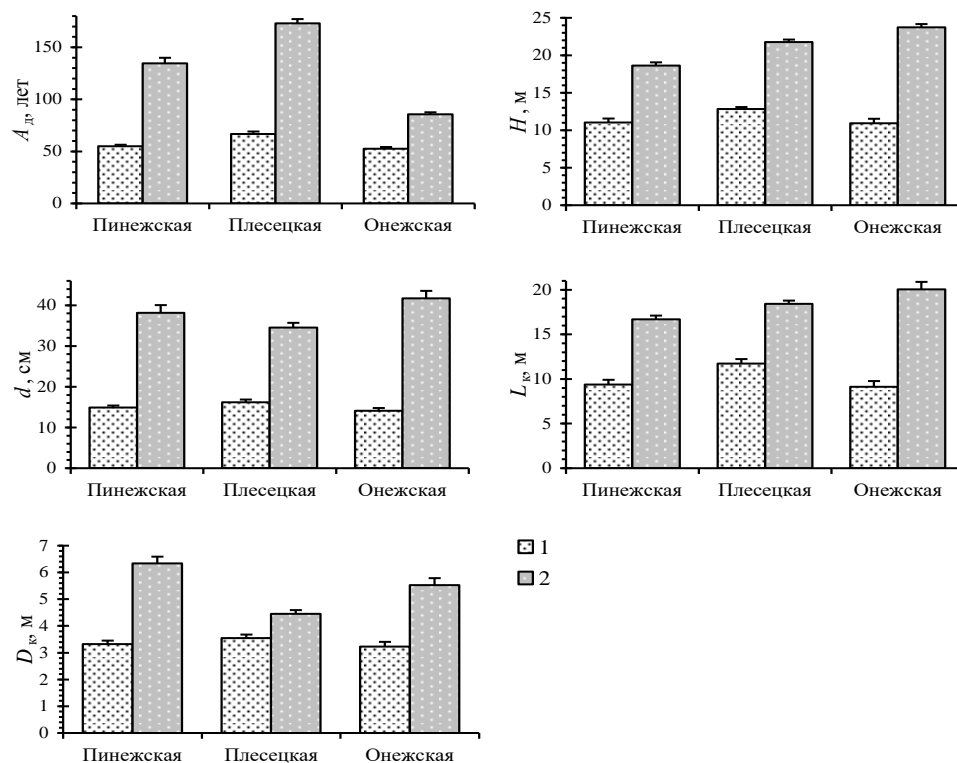


Рис. 1. Морфоструктурные показатели (среднее значение с ошибкой) деревьев ели разного возрастного состояния (1 –  $g_1$ , 2 –  $g_2$ ) в пинежской, плесецкой и онежской популяциях

Fig. 1. Morphostructural parameters (mean value with an error) of uneven-aged spruce trees (1 –  $g_1$ , 2 –  $g_2$ ) in the Pinega, Plesetsk and Onega populations

Ранее установлено [3], что в более молодых древостоях ели преобладают деревья с «возрастающей» формой линейного прироста по длине ствола. Начиная с периода интенсивного изреживания и до зрелого древостоя (70–120 лет) создаются условия для формирования более широких годичных слоев в нижней части ствола и увеличения числа деревьев с «вогнутой» и «постоянной» формой прироста. Эти выводы подтверждаются полученными нами корреляциями высоты и диаметра ствола с возрастом деревьев (в пределах отдельных возрастных групп). Достоверные связи диаметра кроны с возрастом установлены для выборок молодых генеративных деревьев ( $g_1$ ) только в плесецкой популяции ( $r = 0,77 \pm 0,13$ ), а для выборок деревьев старшего возраста ( $g_2$ ) – во всех изучаемых популяциях ( $r = 0,40 \pm 0,19 \dots 0,62 \pm 0,13$ ). Следовательно, связь диаметра кроны с индивидуальным возрастом деревьев в молодом генеративном возрасте присуща не всем изучаемым популяциям. Вероятно, это связано с их возрастной структурой, ступенчато-вертикальной сомкнутостью древесного полога, восстановительными процессами, составом древостоя, неравномерностью и густотой стояния деревьев, наличием «окон» и другими факторами, влияющими на освещенность крон деревьев и формирование древостоев, динамичными в пространстве и во времени, в том числе и антропогенных факторов (пожаров, рубок и др.).

Результаты однофакторного дисперсионного анализа подтверждают зависимость морфоструктурных показателей от индивидуального возраста деревьев



( $F = 21 \dots 417$ ;  $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,30 \dots 0,90$ ). В пинежской популяции большее число межмутовчатых побегов формируется у более молодых генеративных деревьев, в онежской – у средневозрастных ( $t = 2,46 \dots 2,59$ ;  $p < 0,05$ ). Более длинная хвоя в нижней части кроны образуется у средневозрастных генеративных деревьев. В пинежской популяции эти различия достоверны ( $t = 2,13$ ;  $p < 0,05$ ). В онежской популяции у более молодых деревьев ели длина побегов меньше ( $t = 3,06$ ;  $p < 0,05$ ), а предельная продолжительность жизни хвои больше по сравнению со средневозрастными генеративными деревьями ( $t = 2,38$ ;  $p < 0,05$ ) (рис. 2). Обращает на себя внимание разное количественное соотношение побегов в мутовке и межмутовчатых побегов на боковых ветвях первого порядка в связи с возрастным состоянием ели. Отношение числа побегов в мутовке к численности межмутовчатых побегов составляет  $0,4 \dots 2,9 / 0 \dots 3,1$  ( $g_1$ ) и  $0,6 \dots 2,2 / 0,1 \dots 2,0$  ( $g_2$ ). Средние величины этого относительного показателя равны  $1,4 \dots 5,0$  ( $g_1$ ) и  $1,8 \dots 2,8$  ( $g_2$ ), что свидетельствует о более широком диапазоне его изменения в выборках более молодых деревьев. Это обусловлено влиянием многих онтогенетических и внешних факторов [15, 17, 18].

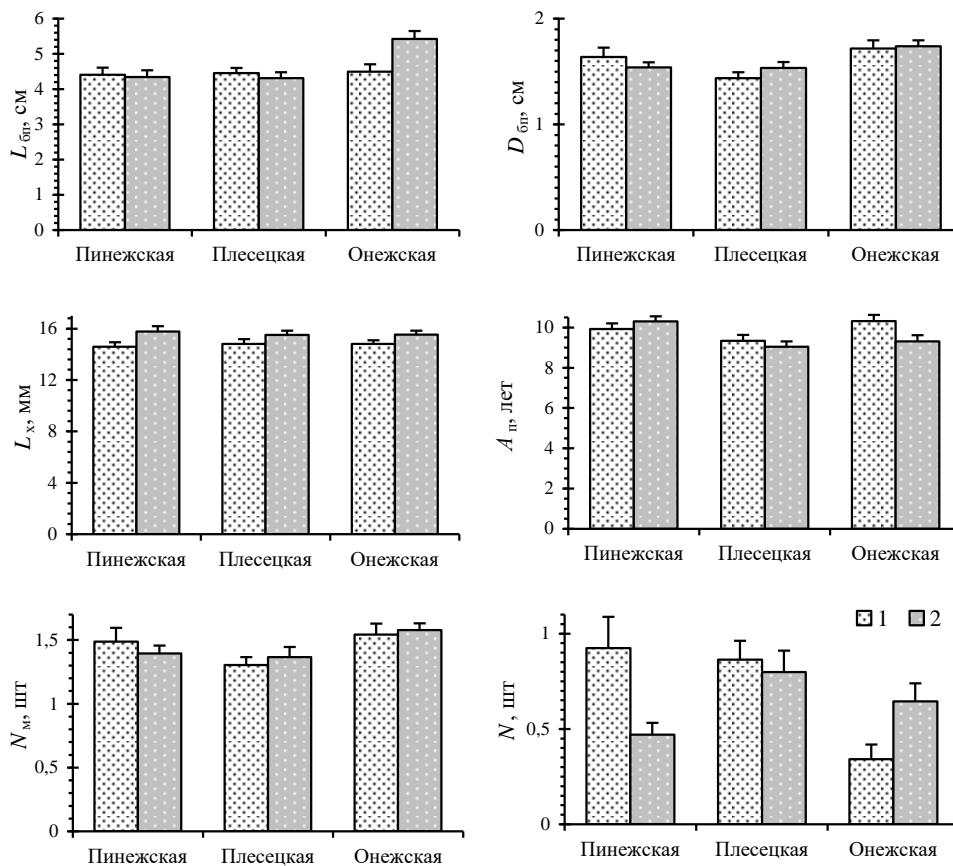


Рис. 2. Морфоструктурные показатели (среднее значение с ошибкой) охвоенных побегов ели разного возрастного состояния (1 –  $g_1$ , 2 –  $g_2$ ) в пинежской, плесецкой и онежской популяциях

Fig. 2. Morphostructural parameters (mean value with an error) of needle covered shoots of uneven-aged spruce (1 –  $g_1$ , 2 –  $g_2$ ) in the Pinega, Plesetsk and Omega populations

Длина шишки является одним из важнейших параметров, характеризующих биологические признаки ели [17]. Этому показателю присущ некоторый уровень индивидуальной изменчивости, связанный не только с экологическими условиями, но и с генотипом деревьев, причем последнее часто является определяющим [9]. Длина шишек изменяется по годам урожая, однако ранги деревьев в погодичной репродукции сохраняются [8]. Длина шишки не зависит от степени раскрытости семенных чешуй в отличие от ее ширины, что позволяет корректно проводить сравнительные оценки по этому параметру в разные временные периоды вне зависимости от температуры, влажности воздуха и других факторов. Полученные результаты показали, что уровень индивидуальной изменчивости деревьев разного возрастного состояния по длине шишки в исследуемых популяциях ели низкий ( $C.V.$  – менее 13 %), по показателю «вытянутости» семенных чешуй ( $C_p$ ) – очень низкий ( $C.V.$  – менее 7 %), по массе шишки – довольно высокий ( $C.V.$  достигает 30 %) (табл. 2), что соответствует уровням изменчивости этих параметров между деревьями ели, установленным С.А. Мамаевым [4].

Таблица 2

**Индивидуальная изменчивость морфоструктурных признаков шишек деревьев ( $n = 25$  шт.) ели разного возрастного состояния ( $g_1, g_2$ )**

Показатель	Пинежская популяция						Плесецкая популяция						Онежская популяция					
	$L_{ш}, мм$		$M_{ш}, г$		$C_p$		$L_{ш}, мм$		$M_{ш}, г$		$C_p$		$L_{ш}, мм$		$M_{ш}, г$		$C_p$	
	$g_1$	$g_2$	$g_1$	$g_2$	$g_1$	$g_2$	$g_1$	$g_2$	$g_1$	$g_2$	$g_1$	$g_2$	$g_1^*$	$g_2$	$g_1^*$	$g_2$	$g_1^*$	$g_2$
min	38,4	48,3	1,6	3,1	55,3	56,2	57,9	56,7	4,6	2,9	49,4	52,6	52,3	59,2	4,2	4,6	59,9	62,0
max	72,8	75,6	8,3	8,9	70,9	71,2	84,5	83,6	13,3	12,3	65,7	67,9	81,6	78,9	10,2	10,5	71,7	69,8
$C.V., \%$	12,9	10,5	30,5	28,9	5,5	5,8	10,6	10,1	28,0	28,1	7,4	6,2	11,8	7,8	25,0	18,4	5,1	2,9

\* $n = 14$  деревьев.

Однофакторный дисперсионный анализ не подтверждает влияния возрастного состояния деревьев на длину, массу шишек и степень «вытянутости» семенных чешуй в разных популяциях ели ( $F < F_{0,05}$ ). Вместе с тем, в пинежской популяции длина и масса шишки в среднем значительно меньше ( $t = 4,55 \dots 7,48$ ;  $t_{0,001} = 3,50 \dots 3,56$ ) по сравнению с онежской и плесецкой популяциями (рис. 3).

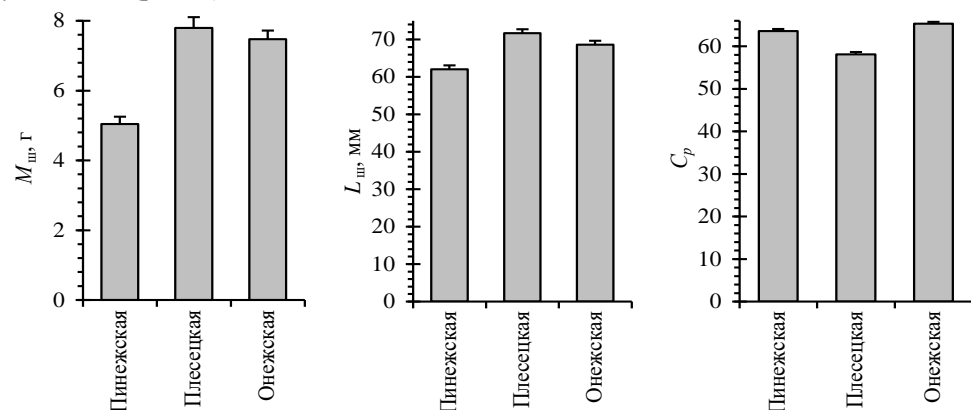


Рис. 3. Морфоструктурные показатели (среднее значение с ошибкой) шишек деревьев ели в пинежской, плесецкой и онежской популяциях

Fig. 3. Morphostructural parameters (mean value with an error) of cones in the Pinega, Plesetsk and Onega populations

Коэффициент вытянутости семенных чешуй в плесецкой популяции существенно уступает этому показателю в пинежской и онежской популяциях ( $t = 7,31 \dots 10,42$ ;  $p < 0,001$ ).

#### *Заключение*

Изменчивость морфоструктурных показателей как в пределах отдельных возрастных групп, так и в популяциях в целом зависит от наследственных свойств деревьев и условий произрастания. Проведенные исследования показали, что более широким диапазоном индивидуальной вариабельности в пределах выборок деревьев ели разного возрастного состояния характеризуется протяженность кроны (от низкого до высокого уровня). Меньше всего проявляются индивидуальные различия деревьев ели по длине и предельной продолжительности жизни хвои (низкий, средний уровень), больше всего – по числу межмутовчатых побегов (очень высокий уровень). Наблюдается тенденция снижения индивидуальной вариабельности в старшей возрастной группе ( $g_2$ ) по сравнению с более молодой ( $g_1$ ) для высоты и диаметра ствола, протяженности и диаметра кроны деревьев. Можно предположить, что это обусловлено более высокой чувствительностью деревьев ели в молодом возрасте к действию внешних факторов и наряду с наследственными различиями в росте деревьев способствует их дифференциации по жизненному состоянию.

Текущий прирост, от которого зависят параметры ствола и кроны деревьев, суммирует воздействие климатических, эдафических, ценологических и других факторов внешней среды. В свою очередь, колебания показателей роста принято рассматривать как результат адаптации деревьев к изменяющимся экологическим условиям. От этого зависят морфоструктурные параметры деревьев в определенных лесорастительных условиях. В ельниках черничных свежих более тесные корреляционные связи между возрастом и высотой ствола наблюдаются в более молодых группах деревьев ( $g_1$ ), а между возрастом и диаметром ствола – в выборках более старых генеративных деревьев ( $g_2$ ). В молодом возрасте у ели в пределах выборок  $g_1$  отмечается более интенсивный рост по высоте, а для деревьев старшего возраста в выборках  $g_2$  более выражен прирост по диаметру ствола.

В пинежской популяции большее число межмутовчатых побегов формируется у молодых генеративных деревьев ели ( $g_1$ ), в онежской – у средневозрастных. Более длинная хвоя в нижней части кроны образуется у средневозрастных генеративных деревьев. В онежской популяции у средневозрастных деревьев формируются более длинные боковые побеги. Предельная продолжительность жизни хвои в этой популяции значительно больше у молодых генеративных деревьев по сравнению со средневозрастными.

Определенные нами лимиты индивидуальной изменчивости длины (С.V. – менее 13 %) и массы (С.V. – менее 30 %) зрелой шишки для ельников черничных свежих на севере Архангельской области соответствуют ранее установленным уровням индивидуальной изменчивости этих показателей на Урале [4]. В пинежской популяции длина и масса шишки в среднем значительно меньше, чем в плесецкой и онежской популяциях. Коэффициент вытянутости семенных чешуй в плесецкой популяции существенно уступает этому показателю в пинежской и онежской популяциях. Вместе с тем возрастное состояние деревьев не влияет на размеры шишки и форму семенных чешуй.

Особенности роста и развития ели на разных возрастных стадиях необходимо учитывать при проведении лесохозяйственных мероприятий, направленных на формирование и повышение продуктивности насаждений в определенных лесорастительных условиях.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Барабин А.И.* Закономерности семеношения ели на Европейском Севере и основы лесосеменного прогнозирования: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. М., 1990. 35 с.
2. *Валяев В.Н.* Динамика таксационных показателей разновозрастных еловых насаждений // Лесн. журн. 1963. № 4. С. 22–26. (Изв. высш. учеб. заведений).
3. *Гусев И.И.* Продуктивность ельников Севера. Л.: Изд-во ЛГУ, 1978. 232 с.
4. *Мамаев С.А.* Формы внутривидовой изменчивости древесных растений (на примере семейства Pinaceae на Урале) М.: Наука, 1972. 284 с.
5. *Молчанов А.А.* География плодоношения главнейших древесных пород в СССР. М.: Наука, 1967. 102 с.
6. Основы лесной биогеоценологии. Гл. I. Основные понятия лесной биогеоценологии / под ред. В.Н. Сукачева и Н.В. Дылиса. М.: Наука, 1964. С. 5–49.
7. *Попов П.П.* Географическая изменчивость формы семенных чешуй ели в Восточной Европе и Западной Сибири // Лесоведение. 1999. № 1. С. 68–73.
8. *Попов П.П.* Популяционно-географическая изменчивость шишек ели европейской и сибирской // Лесоведение. 2011. № 5. С. 54–60.
9. *Правдин Л.Ф.* Ель европейская и ель сибирская в СССР. М.: Наука. 1975. 178 с.
10. *Путенихин В.П., Фарукишина Г.Г.* Внутривидовая фенотипическая изменчивость лиственницы Сукачева на Урале // Лесоведение. 2004. № 1. С. 38–47.
11. *Свалов Н.Н.* Вариационная статистика: учеб. пособие. М.: Лесн. пром-сть, 1977. 178 с.
12. *Семенов Б.А., Цветков В.Ф., Чибисов Г.А., Елизаров Ф.П.* Притундровые леса европейской части России (природа и ведение хозяйства). Архангельск: СевНИИЛХ, 1998. 332 с.
13. *Тарханов С.Н.* Формы внутривидовой изменчивости хвойных в условиях атмосферного загрязнения (на примере Северо-Двинского бассейна). Екатеринбург: УрО РАН, 2010. 230 с.
14. *Труль О.А.* Математическая статистика в лесном хозяйстве: учеб. пособие. Минск: Вышэйш. шк., 1966. 232 с.
15. *Чертовской В.Г.* Еловые леса европейской части СССР. М.: Лесн. пром-сть, 1978. 176 с.
16. *Ярославцев С.В.* Возрастное строение ельников Крайнего Севера // Лесн. журн. 1986. № 3. С. 9–13. (Изв. высш. учеб. заведений).
17. *Andersson E.* Cone and Seed Studies in Norway Spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) // Studia Forestalia Suecica. 1965. No. 23. 214 p.
18. *Cousens J.* An Introduction to Woodland Ecology. Edinburgh: Oliver and Boyd, 1974. 151 p.
19. *Pukkala T., Hokkanen T., Nikkanen T.* Prediction Models for the Annual Seed Crop of Norway Spruce and Scots Pine in Finland // *Silva Fennica*. 2010. Vol. 44, no. 4. Pp. 629–642. DOI: 10.14214/sf.131

Поступила 12.06.18

UDC 582.475.2:631.524.82:631.524.5

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.56

**Variability of Morphostructural Features of Uneven-Aged Spruce in the North of Arkhangelsk Region***S.N. Tarkhanov, Doctor of Biological Sciences**E.A. Pinaevskaya, Junior Research Scientist*

N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, RAS, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 23, Arkhangelsk, 163000, Russian Federation; e-mail: tarkse@yandex.ru

Large age variability and diverse morphometric structure are inherent to taiga spruce forests. Valuation parameters of tree stands under certain site conditions depend on these characteristics.

The research purpose is to study the variability of morphostructural parameters of uneven-aged spruce stands in order to identify the features of their growth and development in the north of Arkhangelsk region. The research objects are fresh blueberry spruce forests of the Plesetsk (63°N, 40°E), Pinega (64...65°N, 43...44°E) and Onega (64°N, 38°E) populations of Arkhangelsk region. Samplings on the study plots were formed out of 25 relatively young and middle-aged trees coming into seeding stage. Sizes of trunk and crown, sizes and number of needle covered side shoots, length and limit age of needles in a lower part of crown, length and weight of 10 mature cones in air dry condition and diameter quotient of their seed scales were determined in these trees. The levels of character individual variability were estimated using the empirical scale of S.A. Mamaev. A tendency to reduce the individual variability of trunk height and diameter at a height of 1.3 m, and crown total length and diameter in the elder age group of trees ( $g_2$ ) in comparison with the younger one ( $g_1$ ) has been found in different populations. Probably, this is due to the higher sensitivity of young trees to the action of environmental factors. The correlations between trunk diameter and age within the samplings of middle-aged ( $r = 0.82...0.92$ ;  $p < 0.05$ ) and young ( $r = 0.48...0.89$ ;  $p < 0.05$ ) generative trees were established. Positive correlation between crown diameter and age ( $r = 0.40...0.62$ ) of the represented populations were revealed only in the elder age group of trees ( $g_2$ ). In the Pinega population, a greater number of intraverticillate shoots are formed in young generative trees ( $g_1$ ); in the Onega population the shoots are formed in middle-aged trees ( $g_2$ ). Longer needles in the lower part of crown are formed in middle-aged trees. The length of shoots is significantly less and life expectancy of needles is longer in younger spruce trees ( $g_1$ ) in comparison with middle-aged trees ( $g_2$ ) of the Onega population. The levels of individual variability of length and weight of cones correspond to the limits established by S.A. Mamaev for spruce growing in the Urals. It was found that length and weight of cones in the Pinega population are on average significantly less in comparison with the Onega and Plesetsk populations.

**Funding:** The research was carried out within the framework of the state assignment of N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research (state registration no. AAAA-A18-118011690221-0).

**For citation:** Tarkhanov S.N., Pinaevskaya E.A. Variability of Morphostructural Features of Uneven-Aged Spruce in the North of Arkhangelsk Region. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2019, no. 2, pp. 56–66. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.56

**Keywords:** spruce, population, variability, forest stand age, uneven-aged trees ( $g_1$ ,  $g_2$ ), morphostructural features, Arkhangelsk region.

#### REFERENCES

1. Barabin A.I. *Patterns of Spruce Seed Production in the European North and the Basics of Forest Seed Prediction*: Dr. Agric. Sci. Diss. Abs. Moscow, 1990. 35 p.
2. Valyayev V.N. Dynamics of Valuation Indicators of Uneven-Aged Spruce Plantations. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 1963, no. 4, pp. 22–26.
3. Gusev I.I. *Productivity of Spruce Forests of the North*. Leningrad, LGU Publ., 1978. 232 p.
4. Mamayev S.A. *Forms of Intraspecific Variation of Woody Plants (Case Study of Pinaceae Family in the Urals)*. Moscow, Nauka Publ., 1972. 284 p.
5. Molchanov A.A. *Geography of Fruiting of the Main Tree Species in the USSR*. Moscow, Nauka Publ., 1967. 102 p.
6. *Basics of Forest Biogeocenology*. Ch. I. Basic Concepts of Forest Biogeocenology. Ed. by V.N. Sukachev, N.V. Dylis. Moscow, Nauka Publ., 1964, pp. 5–49.
7. Popov P.P. Geographic Variability of Seed Scale Forms of Spruce in Eastern Europe and Western Siberia. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 1999, no. 1, pp. 68–73.

8. Popov P.P. Population and Geographical Variation of Norway Spruce and Siberian Spruce Cones. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2011, no. 5, pp. 54–60.
9. Pravdin L.F. *Norway Spruce and Siberian Spruce in the USSR*. Moscow, Nauka Publ., 1975. 178 p.
10. Putenikhin V.P., Farukshina G.G. Intraspecies and Phenotypic Variability of Sukachev Larch in the Urals. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2004, no. 1, pp. 38–47.
11. Svalov N.N. *Analysis of Variance: Educational Textbook*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1977. 178 p.
12. Semenov B.A., Tsvetkov V.F., Chibisov G.A., Elizarov F.P. *Subtundra Forests of the European Part of Russia (Nature and Farming)*. Arkhangelsk, SevNIILKh Publ., 1998. 332 p.
13. Tarkhanov S.N. *Forms of Intrapopulation Variability of Conifers in Terms of Atmospheric Pollution (Case Study of the North Dvina Basin)*. Ekaterinburg, UB RAS Publ., 2010. 230 p.
14. Trull' O.A. *Mathematical Statistics in Forestry*. Minsk, Vysheyshaya shkola Publ., 1966. 232 p.
15. Chertovskoy V.G. *Spruce Forests of the European Part of the USSR*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1978. 176 p.
16. Yaroslavtsev S.V. Age Structure of Spruce Forests of the Far North. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 1986, no. 3, pp. 9–13.
17. Andersson E. Cone and Seed Studies in Norway Spruce (*Picea abies* (L.) Karst.), *Studia Forestalia Suecica*, 1965, no. 23. 214 p.
18. Cousens J. *An Introduction to Woodland Ecology*. Edinburgh, Oliver and Boyd, 1974. 151 p.
19. Pukkala T., Hokkanen T., Nikkanen T. Prediction Models for the Annual Seed Crop of Norway Spruce and Scots Pine in Finland. *Silva Fennica*, 2010, vol. 44, no. 4, pp. 629–642. DOI: 10.14214/sf.131

Received on June 12, 2018

---

УДК 630\*284.2:630\*385.1

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.67

## СМОЛОПРОДУКТИВНОСТЬ СОСНЫ НА ОБЪЕКТЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЙ МЕЛИОРАЦИИ ПОСЛЕ НЕСПЛОШНОЙ ЗАГОТОВКИ ДРЕВЕСИНЫ

*А.С. Новосёлов, канд. с.-х. наук, доц.*

Вологодский государственный университет, ул. Ленина, д. 15, г. Вологда, Россия, 160000; e-mail: tolyannow@mail.ru

Комплексное использование лесных ресурсов хвойных формаций – это естественная необходимость при рациональном природопользовании. Наличие в хвойных бореальных лесах гидроресурсообеспечивающих систем подразумевает разработку специфического режима хозяйствования, который включает проведение лесоводственных уходов и несплошных видов заготовки древесины. Расширение спектра получаемых продуктов во время эксплуатации лесных земель должно достигаться за счет побочного и прижизненного видов пользования. Заготовка соснового терпентина (живицы) позволяет получить ценное лесохимическое сырье для ряда производств. Влияние лесосушения и несплошной заготовки древесины на смолопродуктивность – это одно из мало освещенных направлений исследований в лесоводстве. На примере Сокольского района Вологодской области было изучено влияние расположения сосновых деревьев относительно каналов регулирующей сети и лесополос, оставленных для дорастивания после несплошной заготовки древесины, на выделение сосновой живицы при закрытом способе подсочки. Установлено, что каналы осушительной системы в районе объекта вырубki с 1972 по 2015 г. находились в удовлетворительном состоянии. Наибольшая смолопродуктивность сосняков отмечена в июле, наименьшая – в августе. В 2013 и 2015 гг. в одной из полос древостоя наибольшая смолопродуктивность наблюдалась в центре и с края пасеки, в 2013 и 2014 гг. – в приканальном пространстве. Смолопродуктивность на объекте вырубki в 1,4 раза выше, чем на контроле (только в осушаемых условиях). Это свидетельствует о положительном влиянии выборочного удаления деревьев при лесозаготовке на смолосыделение оставшейся при подсочке части. За трехлетний период исследования выявлено, что изменчивость смолосыделения с края пасеки на 9 % меньше, чем в ее центре. В приканальном и межканальном пространствах дренируемой полосы явных флуктуаций не отмечено. Установлено, что на смолосыделение оказывают влияние такие факторы, как температура почвы и воздуха, а также таксационный диаметр опытных деревьев, вовлекаемых в подсочку. Значимая корреляция с температурой подстилающей поверхности отмечена в июле и августе, с температурой почвы – в июле. Степень прогревания воздуха на уровне расположения карр опытных деревьев влияет на смолосыделение в большей степени в июне. Теснота связи между смолосыделением и таксационным диаметром деревьев оказалась выше в приканальном пространстве и с края пасеки, чем в межканальном пространстве и в центре пасеки. Вероятно, это зависит от микроклимата и гидрологических особенностей после осушения и несплошной заготовки древесины, что создает более комфортные условия роста (большая освещенность). В целях организации подсочного производства в осушаемых сосняках рекомендуются несплошные рубки умеренной интенсивности по запасу и интенсивная подсочка по краям оставленных на дорастивание полос древостоя на делянке (лесосеке). В осушаемых сосняках на торфяных почвах подсочку деревьев с большей нагрузкой следует осуществлять в приканальном пространстве (вдоль осушительных каналов).

**Для цитирования:** Новосёлов А.С. Смолопродуктивность сосны на объекте гидротехнической мелиорации после несплошной заготовки древесины // Лесн. журн. 2019. № 2. С. 67–77. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.67

**Ключевые слова:** подсочка сосны, гидротехническая мелиорация, несплошная заготовка древесины, факторы среды, диагностика сосновых деревьев.

### *Введение*

Для комплексного освоения эксплуатационных лесов наиболее перспективна подсочка сосны обыкновенной [2, 7, 8]. Сосновый терпентин (или живица) – это природное вещество, используемое для лесохимической переработки и получения целого ряда ценных продуктов, незаменимых в разных отраслях народного хозяйства [8]. В связи с практически полным прекращением заготовки соснового терпентина (живицы) в сосновых лесах, но при наличии многочисленных разработок инвентаря для проведения подсочных работ и базы для подсочки на объектах гидрлесомелиоративного фонда Европейского Севера России актуальным является углубленное изучение влияния несплошной (выборочной) заготовки древесины на выделение живицы при подсочке [8–10, 12]. Создание соответствующей базы данных необходимо в связи с существенными отличиями (как по технологии (режиму) подсочки, так и по особенностям смолы выделения) осушаемых древостоев от суходольных [8, 10]. Также стоит отметить непрерывное сокращение доли сосны в суходольных лесах, тогда как запасы сосны в осушаемых условиях плохо осваиваются из-за значительной отдаленности объектов [11, 13–15]. Исследованиями [1, 2] установлено, что живичное сырье осушаемых сосняков не уступает сосновым древостоям с естественным дренажом.

Выборочная форма заготовки древесины приводит к изменению относительной полноты сосновых древостоев и дифференцированному реагированию деревьев на новые экологические условия. Наблюдаются качественные изменения в древесине оставшихся на корню деревьев сосны, а также между древесными породами и внутри видов. На торфяных почвах деревья начинают испытывать стресс из-за необходимости дополнительного укоренения (так как изменилась густота). Увеличивается количество снего- и ветролома(-вала) среди деревьев. Отмечаются обрыв мелких корней и дополнительное их ослабление [1, 8, 10]. В дальнейшем стволы деревьев становятся более полнокорневными, испытывают перемены в росте боковые ветви и крона в целом. На изреживание наиболее отзывчивы, как правило, крупные деревья, смолопродуктивность у которых повышается, а на радиальный прирост – средние [4, 10]. Известно [1], что в целях повышения смолопродуктивности сосняков следует проводить несплошные рубки умеренно-высокой интенсивности (31...40 %) по общему запасу на выделе. Предыдущими исследованиями [5] был выявлен минимальный срок, необходимый для установления динамики смолопродуктивности в течение вегетационного периода.

### *Объекты и методы исследования*

С учетом изложенного выше в Сокольском районе Вологодской области в 2013–2015 гг. было проведено исследование смолопродуктивности осушаемых и импактных (осушаемых и пройденных несплошной заготовкой (в 2005 г.)) сосновых древостоев. Основная задача, которая решалась при этом, заключалась в установлении особенностей реагирования деревьев во время подсочки закрытого типа (экспресс-метод микроранений – ЭММ) в оставленных на доращивание до возраста спелости полосах древостоя.

В рассматриваемом районе для заготовки сосновой живицы потенциально пригодны 660 га осушенной лесопокрытой площади (лидируют в этом отношении Борисово-Судское и Череповецкое государственные лесничества, где сосредоточено 6827,3 га подобных земель).



Район исследований характеризуется центрально-олиготрофным типом заболачивания. Осушаемые сосняки (рис. 1, *а*), произрастающие на торфяных почвах, были использованы в качестве контроля (пробные площади (ПП) 8 и 9).

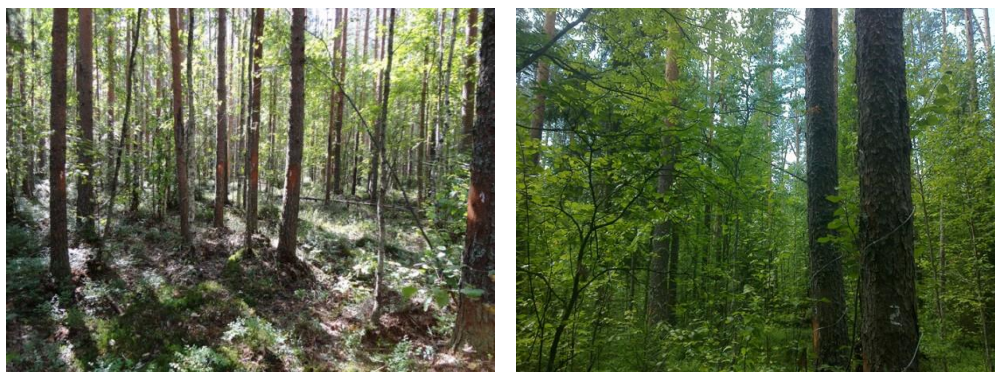
*а**б*

Рис. 1. Объект исследования: *а* – осушаемый сосняк; *б* – импактный осушаемый сосняк

Fig. 1. The study object: *a* – drain pine forest; *b* – impact drain pine forest

Лесоосушение было проведено в 1972 г. открытыми самотечными каналами. Реконструкций на мелиоративной сети не проводилось. Регулирующая сеть каналов находилась в исправном (удовлетворительном) состоянии, заросла ивой, елью, папоротником, осокой и мхом сфагнумом. Степень зарастания каналов оценивалась как высокая, с уровнем воды во время исследования в пределах 10 см. Бровки и откосы каналов имели высокую степень оползания торфо-грунта. Ширина каналов в нижней части – 170 см. Объекты совместного влияния осушения и несплошной заготовки древесины на фитоценоз (ПП 45–48, 53–56 (рис. 2)) располагались на торфянистых почвах.

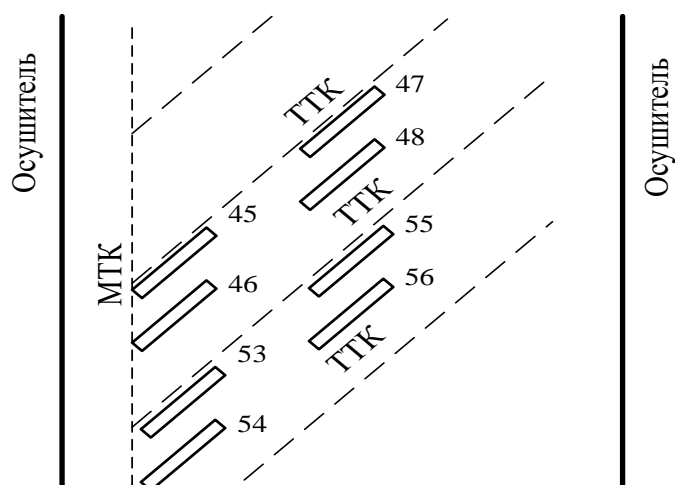


Рис. 2. Схема расположения пробных площадей на вырубке после несплошной заготовки древесины (ТТК и МТК – трелевочный и магистральный технологические коридоры)

Fig. 2. The layout of sample plots in the cutting area after partial logging of wood (ТТК – skidding and МТК – primary technological corridors)

Таблица 1

Средние таксационные показатели опытных осушаемых сосняков

Номер ленты учета (ПП)	Положение в осушаемой полосе	Тип леса	Состав древостоя	Высота, м	Диаметр, см	Густота, экз./га	Полнота		Древесная порода	Запас, м <sup>3</sup> /га	
							абсолютная, м <sup>2</sup> /га	относительная		сырорастущий	сухостойный
45–48	–		8С2Е+Б	16,2	20,6	360	12,9	0,4	С	101,9	–
				9,3	13,0	260	3,6	0,2	Е	18,2	–
				9,6	12,2	160	1,9	0,2	Б	10,0	–
53–56	–	С. черн.	9С1Б+Е	19,2	21,7	380	14,4	0,4	С	131,7	3,0
				14,9	17,1	60	1,5	0,0	Е	11,7	–
				10,1	12,6	120	1,6	0,1	Б	8,4	1,0
8			10С	20,5	21,3	1337	50,4	1,3	С	473,0	20,5
9	МК	С. бр.-зм.	10С	19,0	18,7	1780	52,7	1,5	С	465,0	19,0

Примечания. 1. ПК – приканальное положение; МК – межканальное (в центре осушаемой полосы) положение. 2. С. черн. – сосняк черничный; С. бр.-зм. – сосняк бруснично-зеленомошный.

Заготовку древесины проводили по традиционной схеме с использованием трелевочных тракторов и бензомоторных пил. Угол присоединения ТТК к МТК составлял 45°. После первого приема заготовки были удалены перестойные и фаутные сосновые деревья, на доращивание был оставлен одновозрастный древостой (рис. 1, б).

Исходя из таксационной характеристики опытных объектов (табл. 1), следует отметить высокую долю участия сосны в породном составе. Наибольшая степень участия сухостойных деревьев приходится на контрольный (без заготовки древесины) осушаемый сосняк.

Таксационные показатели оставленных на доращивание древостоев в пасечных полосах осушаемых и пройденных несплошной заготовкой древесины сосняков (в целом для каждой пасеки/лесополосы) определялись по общепризнанной в лесоводственной практике методике с использованием регионального справочника [3]. Ленточные ПП на объекте несплошной заготовки древесины по длине ограничивались с учетом набора необходимого числа деревьев (не менее 20 экз. для обеспечения минимальной статистической точности в 85 %), тогда как таксационные показатели устанавливались в целом для оставленной на доращивание пасеки древостоя. В опыт было вовлечено две пасеки древостоя, в которых ленточные ПП были обособлены вблизи каналов регулирующей сети и в центре межканального пространства. Только в осушаемых условиях (ПП 8 и 9) древостои оценивались в приканальном и межканальном положениях, относительно осушителей.

Порядок проведения оценки смолопродуктивности сосновых древостоев с использованием ЭММ крытого типа сводился к следующему: отбор деревьев для опыта (не менее

20 экз. на одной ПП), подрумянивание (см. рис. 1) небольшого участка ствола (удаление грубой корки) на высоте 1,3 м и установка поливинилхлоридных (ПВХ) прозрачных трубок на сутки.

Деревья вовлекались в опыт после внешнего осмотра на предмет отсутствия у них признаков явного ослабления жизненного состояния [6]. Подрумянивание проводилось для чистоты эксперимента (так как корка у молодых и уже спелых или перестойных деревьев имеет разную толщину), а также для удобства маркировки опытных деревьев на ПП. Установка на древесные стволы трубок ПВХ и расчет индивидуальной и совокупной смолопродуктивности сосны (перерасчет выхода живицы (в граммах) на одну подновку при ширине карры 10 см [6]) проводились согласно методике [5]. При установке трубок на деревья одновременно прашевым термометром фиксировалась температура воздуха в районе расположения карр, а транзисторным термометром определялись температуры торфяной почвы на дневной поверхности и на глубинах 10 и 20 см. Однократно (в трех точках маршрута с интервалами между ними 50 м) были обследованы два осушительных канала регулирующей сети с целью установления состояния их бровок и откосов, степени зарастания растительностью, ширины по верху и низу, общей и рабочей глубины каналов.

#### *Результаты исследования и их обсуждение*

В среднем за три года эксперимента было выявлено, что в двух пасеках смолопродуктивность деревьев с края пасеки выше в межканальном пространстве, чем в приканальном, соответственно на 22,7 и 12,8 %.

Если сравнивать смолопродуктивность сосняка в первой пасеке в приканальном и межканальном пространствах относительно центра пасеки, то она на 19,9 % выше в межканальной полосе, чем в приканальной ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{ст}} - 50\%$ ;  $0,69 > 0,68$ ). Исходя из градации смолопродуктивности для сосняков [1], можно сделать вывод, что большинство исследуемых объектов обладают низкой смолопродуктивностью. Причем показатели смолопродуктивности сосняка на объектах выборочной рубки (см. рис. 1, б) выше, чем на контрольных объектах (см. рис. 1, а), в 1,4 раза, или на 26,0 %. В июне и июле некоторые деревья обладают средней смолопродуктивностью, причем в июле она на 9,9 % выше, чем в июне. Скорее всего, это связано с более комфортными условиями роста древостоев.

Таким образом, на основании данных табл. 2 можно сделать вывод, что наибольшая смолопродуктивность сосновых деревьев отмечается в июле, наименьшая – в августе. В 2013 и 2015 г. в первой пасеке древостоя наибольшая смолопродуктивность (23,2 % ( $t_{\text{факт}} \geq t_{\text{ст}} - 50\%$ ;  $1,20 \geq 0,68$ )) наблюдалась в центре осушаемой полосы. Это может быть связано с локальным дефицитом влаги во время засухи – кривая депрессии смещается вниз. В 2013 и 2014 г. это отмечено для приканального пространства. Во второй пасеке статистических различий доказать не удалось ( $t_{\text{факт}} < t_{\text{ст}}$ ).

За три года наблюдений установлено, что изменчивость смолы выделения при подсочке в центре пасеки выше на 9,1 %, чем с края пасеки. Изменчивость в приканальном пространстве (62,8 %) почти не отличается от изменчивости в межканальном пространстве (63,2 %). Точность опыта выше на контрольных объектах, чем на исследуемых, на 4,25 % (первая пасека древостоя) и 7,84 % (вторая). Точность опыта на 3,59 % выше на первой пасеке древостоя, чем на второй. С каждым годом достоверность средних значений возрастает, что может свидетельствовать о более сглаженных реакциях на поранения у групп деревьев (предположительно, влияют возникающие патологические смоляные ходы).

Таблица 2

## Динамика смолопродуктивности осушаемых сосновых древостоев

Номер ПП, расположение	Год наблюдений	Смолопродуктивность, г/КДП			
		Июнь	Июль	Август	Среднее за летний период
<i>Контроль</i>					
8, ПК	2013	3,23±0,62	3,21±0,58	2,84±0,63	3,09±0,61
	2014	2,15±0,47	3,99±0,88	3,02±0,67	3,05±0,67
	2015	6,44±0,93	4,49±0,90	2,97±0,62	4,63±0,82
9, МК	2013	1,86±0,45	2,08±0,58	2,93±0,73	2,29±0,59
	2014	1,88±0,34	2,50±0,56	3,76±0,83	2,71±0,58
	2015	3,61±0,60	2,79±0,37	3,11±0,50	3,17±0,49
<i>Первая пасека</i>					
45, ПК КП	2013	3,67±0,40	4,09±0,53	3,65±0,45	3,80±0,46
	2014	3,36±0,55	5,80±0,91	4,24±0,75	4,47±0,74
	2015	3,67±0,40	4,09±0,53	3,65±0,45	3,80±0,46
46, ПК ЦП	2013	<b>3,03±0,36</b>	3,44±0,69	<b>2,20±0,27</b>	2,89±0,44
	2014	3,87±0,85	6,83±1,56	<b>3,65±0,72</b>	4,78±1,04
	2015	<b>3,03±0,36</b>	3,44±0,69	<b>2,20±0,27</b>	2,89±0,44
47, МК КП	2013	5,66±0,93	<b>4,60±0,88</b>	3,90±0,79	4,72±0,87
	2014	<b>2,55±0,39</b>	2,97±0,44	4,71±0,57	3,41±0,47
	2015	5,66±0,93	<b>4,60±0,88</b>	3,90±0,79	4,72±0,87
48, МК ЦП	2013	4,98±0,78	4,15±0,74	4,02±0,55	4,38±0,69
	2014	4,09±0,63	4,51±0,81	5,01±0,67	4,54±0,70
	2015	4,98±0,78	4,15±0,74	4,02±0,55	4,38±0,69
<i>Вторая пасека</i>					
53, ПК КП	2013	4,83±0,59	3,43±0,50	4,23±0,40	4,16±0,50
	2014	4,37±0,36	3,54±0,65	4,89±0,62	4,27±0,54
	2015	4,83±0,59	3,43±0,50	4,23±0,40	4,16±0,50
54, ПК ЦП	2013	<b>6,77±0,93</b>	4,27±0,49	4,10±0,59	5,05±0,67
	2014	5,15±0,74	<b>2,94±0,64</b>	4,89±0,62	4,33±0,67
	2015	<b>6,77±0,93</b>	4,27±0,49	4,10±0,59	5,05±0,67
55, МК КП	2013	5,04±0,71	4,20±0,43	<b>4,46±0,41</b>	4,57±0,52
	2014	<b>6,02±0,57</b>	<b>7,94±0,77</b>	4,95±0,74	6,30±0,69
	2015	5,04±0,71	4,20±0,43	<b>4,46±0,41</b>	4,57±0,52
56, МК ЦП	2013	3,57±0,57	<b>3,16±0,39</b>	2,94±0,39	3,22±0,45
	2014	2,92±0,32	5,96±1,11	<b>5,11±0,81</b>	4,66±0,75
	2015	3,57±0,57	<b>3,16±0,39</b>	2,94±0,39	3,22±0,45

Примечания. 1. Расположение проб внутри пасеки: КП – край пасеки; ЦП – центр пасеки. 2. Жирным шрифтом отмечены минимальное и максимальное смолывыделение по месяцам за три года по категориям ПП на объекте вырубki.

В ходе исследования установлено, что наибольшие показатели изменчивости смолывыделения характерны для июля, наименьшие – для июня. Смолывыделение на опытных объектах в 1,9 раз больше, чем на контрольных. Показатель изменчивости длины потока с края пасеки меньше, чем в ее центре, на 9,1 %, в приканальном и межканальном пространствах явных отличий не отмечено (табл. 3).

Таблица 3

Теснота связи между смоловыделением (потоком живицы) и температурой (°С) за 2013–2015 гг.

Месяц	Температура воздуха						Температура почвы					
	на высоте груди		на поверхности		на глубине 10 см		на поверхности		на глубине 10 см		на глубине 20 см	
	2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014
Июнь	r	0,70	0,68	-0,13	0,30	0,09	-0,10	-0,07	-0,13	-0,05	-0,32	0,26
	t <sub>r</sub>	-2,01	3,33	-0,32	0,80	0,23	-0,25	-0,17	-0,31	-0,13	-0,87	0,67
Июль	r	0,08	0,39	0,68	-0,41	0,39	0,81	-0,46	-0,03	0,87	-0,19	-0,20
	t <sub>r</sub>	0,21	0,38	3,04	-1,19	1,13	5,70	-1,43	-0,06	8,49	-0,48	-0,52
Август	r	-0,57	-0,13	-0,66	-0,76	0,56	-0,17	-0,48	0,14	0,28	-0,54	0,28
	t <sub>r</sub>	-2,03	-0,33	-2,90	-4,51	1,97	-0,42	-1,52	0,35	0,73	-1,86	0,76

Примечание. r – коэффициент корреляции; t<sub>r</sub> – достоверность коэффициента корреляции.

Анализ данных табл. 3 показал, что в июле 2013 г. наблюдалась высокая положительная связь между температурой и смоловыделением. Как правило, это связано с наибольшей активностью солнечной радиации и оптимальным прогревом поверхностных слоев почвы. В июне и августе этого же года отмечалась слабая корреляционная связь, т. е. теснота связи в июле больше, чем в июне и августе, соответственно на 65,6 и 31,1 %.

В июне 2014 г. прослеживалась значительная положительная связь, а в июле и августе – отрицательная. Можно предположить, что смоловыделение достаточно чувствительный процесс, на котором сказывается расположение деревьев внутри пасеки и действие ветров. В целом показатели связи в июле и августе меньше, чем в июне, соответственно на 16,7 и 83,3 %.

В июне 2015 г. отмечалась значительная положительная связь, в июле и августе уровень связи значителен, за исключением тесноты связи в августе для температуры на поверхности почвы, для температуры на глубине 10 и 20 см показатель корреляции во все месяцы – слабый. В целом теснота связи в июне больше, чем в июле и августе, соответственно на 14,0 и 83,0 %.

Далее анализируются коэффициенты корреляции зависимости между таксационным диаметром и смоловыделением у импактных деревьев в разрезе лет. Так, в 2013 г. в приканальном пространстве уровень связи был в 2,2 раза больше, чем в межканальном. Максимальные значения на приканальных пробах отмечаются в июле, что на 25,0 и 5,6 % больше, чем в июне и августе соответственно. Если рассматривать тесноту связи относительно расположения лент древостоя внутри пасеки, то корреляция на 55,0 % больше с ее края. Максимальные значения отмечены в августе, что на 14,3 и 2,9 % больше, чем в июне и июле соответственно.

В 2014 г. корреляция между исследуемыми параметрами в приканальном пространстве была на 23,5 % больше, чем в межканальном. Максимальные значения тесноты связи зафиксированы в июле, что в 2,9 и 1,6 раза больше, чем в июне и августе соответственно.

Рассматривая тесноту связи относительно расположения проб внутри пасеки, необходимо отметить повышение уровня связи с края пасеки: на 19,5 % больше, чем в центре. Максимумы пришлись на июль, что в 1,3 и 1,2 раза больше, чем в июне и августе соответственно.

Уровень связи в 2015 г. в приканальном пространстве был на 26,5 % больше, чем в межканальном. Максимальные параметры зафиксированы в июле, что в 1,8 и 1,3 раза больше, чем в июне и августе. Максимальная теснота связи относительно положения лент внутри пасеки отмечалась с края пасеки, это в 2,2 раза больше, чем в центре. За весь летний период максимальные значения корреляции наблюдались в июле, что на 16,3 и 2,3 % больше, чем в июне и августе соответственно.

#### *Заключение*

За изученный период наибольшая смолопродуктивность осушаемых сосновых древостоев в Сокольском районе Вологодской области наблюдалась в июле, наименьшая – в августе. При сравнении двух изученных пасек древостоев после заготовки древесины установлено, что в 2013 и 2015 г. в первой пасеке древостоя максимальная смолопродуктивность отмечена в ее центре и с края, а в 2013 и 2014 г. – только в приканальном пространстве. Для второй пасеки древостоя (в большинстве случаев) статистически различия по смолопродуктивности не доказаны.

Большинство опытных осушаемых древостоев обладают низкой смолопродуктивностью, но есть и имеющие среднюю смолопродуктивность (июнь, июль). Положительное влияние выборочной заготовки древесины на смолопродуктивность сосняка доказать удалось: здесь она в 1,4 раза, или на 26,0 %, выше, чем на контрольных (только осушаемых) объектах.

За трехлетний период наименьшая изменчивость смоловыделения при опытной подсочке отмечена только в одной из пасек оставленного на дорацивание древостоя. С края пасеки она на 9,1 % меньше, чем в ее центре, а в приканальном и межканальном пространствах – статистически доказанных вариаций не отмечено.

Температуры почвы и воздуха на смоловыделение при подсочке импактного осушаемого сосняка оказывают неоднозначное влияние. В отдельные годы теснота связи между температурой и потоком живицы в июле больше, чем в июне и августе, соответственно на 65,6 и 31,1 %. В одном и том же году наблюдений положительный коэффициент корреляции зафиксирован только в июне ( $r = 0,70$ ), а в июле и августе – он отрицательный.

Эмпирически подтвержден факт влияния таксационного диаметра сосновых деревьев на смоловыделение. За три года наблюдений показатели тесноты связи оказались выше в приканальном пространстве (на 26,5 %) и с края пасеки (на 36,1 %), чем в центре межканального пространства и в центре пасеки древостоя (корреляция колеблется от 41,0 до 85,0 %). Предположительно, это зависит от комплексного влияния микроклимата, гидрологических особенностей после осушения и дополнительной трансформации лесорастительных условий после несплошной заготовки древесины, которые создают более комфортные условия для роста древостоя.

По результатам исследований рекомендуется: интенсивнее проводить подсочку сосны после выборочной рубки с края пасеки, где живица выделяется в большем количестве, чем в центре; пускать в подсочку древостей, находящийся в приканальном пространстве, где торфяная почва более обогащена минеральными веществами и смолопродуктивность выше.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дружинин Н.А. Лесоводственно-экологическое обоснование ведения лесного хозяйства в осушаемых лесах: дис. ... д-ра. с.-х. наук. СПб., 2006. 348 с.
2. Дружинин Н.А., Дружинин Ф.Н., Пестовский А.С., Новосёлов А.С. Прижизненное и побочное пользования осушаемых лесов Вологодской области: моногр. / под общ. ред. А.С. Новосёлова. Вологда: ИЦ ВГМХА, 2011. 192 с.
3. Лесотаксационный справочник для северо-востока европейской части СССР (нормативные материалы для Архангельской, Вологодской областей и Коми АССР). Архангельск: АИЛиЛХ, 1986. 358 с.
4. Мелехов И.С. Лесоводство: учеб. М.: МГУЛ, 2003. 320 с.
5. Новосёлов А.С., Дружинин Н.А. Сезонная динамика смолопродуктивности осушаемых сосновых древостоев // Лесн. журн. 2017. № 1. С. 21–29. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.21
6. ОСТ 13-80–79. Подсочка сосны. Термины и определения / Мин-во лесн. и деревообраб. пром-сти СССР. Введ. 1980-07-01. М., 1979. 22 с.
7. Пастухова Н.О. Критерии смолопродуктивности сосновых древостоев: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Архангельск, 2017. 20 с.
8. Петрик В.В. Лесоводственные методы повышения смолопродуктивности сосновых древостоев. Архангельск: АГТУ, 2004. 236 с.
9. Практическая гидрлесомелиорация / под ред. В.К. Константинова. СПб.: СПбНИИЛХ, 2005. 128 с.
10. Чудный А.В. Рубки ухода на селекционной основе как метод формирования высокосмолопродуктивных насаждений сосны // Лесн. хоз-во. 1969. № 6. С. 65–67.
11. Albaugh T.J., Fox T.R., Allen H.L., Rubilar R.A. Juvenile Southern Pine Response to Fertilization Is Influenced by Soil Drainage and Texture // Forests. 2015. Vol. 6, iss. 8. Pp. 2799–2819. DOI: 10.3390/f6082799
12. Arano K.G., Munn I.A. Evaluating Forest Management Intensity: A Comparison among Major Forest Landowner Types // Forest Policy and Economics. 2006. Vol. 9, iss. 3. Pp. 237–248. DOI: 10.1016/j.forpol.2005.07.011
13. Helming K., Tscherning K., König B., Sieber S., Wiggering H., Kuhlman T., Wascher D., Perez-Soba M., Smeets P., Tabbush P., Dilly O., Hüttl R.F., Bach H. Ex Ante Impact Assessment of Land Use Change in European Regions – The SENSOR Approach // Sustainability Impact Assessment of Land Use Changes. Berlin: Springer, 2008. Pp. 77–105.
14. Hengeveld G.M., Nabuurs G.-J., Didion M., Van den Wyngaert I., Clerckx A.P.P.M., Schelhaas M.-J. A Forest Management Map of European Forests // Ecology and Society. 2012. Vol. 17, no. 4. Article no. 53. DOI: 10.5751/ES-05149-170453
15. Punttila P., Autio O., Kotiaho J.S., Kotze D.J., Loukola O.J., Noreika N., Vuori A., Vepsäläinen K. The Effects of Drainage and Restoration of Pine Mires on Habitat Structure, Vegetation and Ants // Silva Fennica. 2016. Vol. 50, no. 2. 31 p. DOI: 10.14214/sf.1462

Поступила 20.12.17

UDC 630\*284.2:630\*385.1

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.67

### Resin Productivity of Pine after Partial Logging on the Hydrotechnical Reclamation Site

A.S. Novoselov, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

Vologda State University, ul. Lenina, 15, Vologda, 160000, Russian Federation;  
e-mail: tolyannow@mail.ru

Integrated use of coniferous forest resources is a natural necessity of sustainable environment conservancy. Hydrological forest reclamation systems in coniferous boreal forests

imply the development of specific management regime including silvicultural tending and partial logging. Spectrum broadening of products obtained in forest land exploitation should be achieved by the means of lifetime and minor use. Production of pine turpentine (sap) allows to obtain valuable forest chemical raw materials for the number of industries. Influence of forest drainage and partial logging on resin productivity is one of the insufficiently provided research issues in forestry. On the example of Sokol'skiy District of Vologda Region, the influence of location of pine trees (towards the channels of regulating network and forest belts), left for completion of growing after partial logging, on the pine sap exudation under closed tapping was studied. It was established that the drainage system channels in the felling site area were in satisfactory condition from 1972 till 2015. The highest resin productivity of pine forests was observed in July and the lowest in August. One of the forest belts had the highest resin productivity in the center and at the edge of the swath in 2013 and 2015; and in the channel area in 2013 and 2014. Resin productivity at the felling site is 1.4 times higher than in the control area (under the drainage conditions). This proves the positive effect from selective tree cutting in logging for resin exudation from the part of trees remained after tapping. Three years of studies have shown that the variability of resin exudation at the edge of the swath is 9 % less than in the center of the swath. No apparent fluctuations have been found in the channel and interchannel areas of the drained belt. The study has proved that soil and air temperature, and valuation diameter of sample trees involved into tapping can affect the resin exudation. A significant correlation with the temperature of underlying surface was registered in July and August and with the soil temperature in July. The air temperature at the level of resin blaze location of the sample trees affects the resin exudation mostly in June. It turned out that the correlation between resin exudation and valuation diameter of trees is stronger in the channel area and at the edge of swath than in the center of interchannel area. Probably, it depends on the microclimate and hydrological features after draining and partial logging that results in more comfortable conditions for growth (higher illumination). The turpentine production in drained pine forests requires carrying out partial cuttings of moderate intensity by reserves and intensive tapping at the edges of belts (logging area) left for completion of growing. In drained pine forests on peat soils, tapping with greater intensity should be carried out in the channel areas (along the drainage channels).

**For citation:** Novoselov A.S. Resin Productivity of Pine after Partial Logging on the Hydrotechnical Reclamation Site. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2019, no. 2, pp. 67–77. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.67

**Keywords:** pine tapping, hydrotechnical reclamation, partial logging, environmental factors, diagnosis of pine trees.

#### REFERENCES

1. Druzhinin N.A. *Silvicultural and Ecological Substantiation of Forest Management in Drained Forests*: Dr. Agric. Sci. Diss. Saint Petersburg, 2006. 348 p.
2. Druzhinin N.A., Druzhinin F.N., Pestovskiy A.S., Novoselov A.S. *Lifetime and Minor Use of Drained Forests in Vologda Region*: Monography. Under the general editorship of A.S. Novoselov. Vologda, ITs VGMKhA Publ., 2011. 192 p.
3. *Forest Valuation Handbook for the North-East of the European Part of the USSR (Standards, Specifications and Guidelines for Arkhangelsk and Vologda Regions and the Komi ASSR)*. Arkhangelsk, AILiLKh Publ., 1986. 358 p.
4. Melekhov I.S. *Forestry*: Textbook. Moscow, MGUL Publ., 2003. 320 p.
5. Novoselov A.S., Druzhinin N.A. Seasonal Resin Productivity Dynamics of Drained Pine Stands. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2017, no. 1, pp. 21–29. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.1.21



- 
6. OST 13-80-79. *Tapping of Pine. Terms and Definitions*. Ministry of Forestry and Wood Industry of the USSR. Moscow, 1979. 22 p.
  7. Pastukhova N.O. *Criteria for Resin Productivity of Pine Stands*: Cand. Agric. Sci. Diss. Abs. Arkhangelsk, 2017. 20 p.
  8. Petrik V.V. *Forestry Methods for Increasing the Resin Productivity of Pine Stands*. Arkhangelsk, AGTU Publ., 2004. 236 p.
  9. *Practical Forest Hydromelioration*. Ed. by V.K. Konstantinov. Saint Petersburg, SPbNIILKh Publ., 2005. 128 p.
  10. Chudnyy A.V. Improvement Thinning on a Selection Basis as a Method for Forming Highly Resin Productive Pine Plantations. *Lesnoye khozyaystvo*, 1969, no. 6, pp. 65–67.
  11. Albaugh T.J., Fox T.R., Allen H.L., Rubilar R.A. Juvenile Southern Pine Response to Fertilization Is Influenced by Soil Drainage and Texture. *Forests*, 2015, vol. 6, iss. 8, pp. 2799–2819. DOI: 10.3390/f6082799
  12. Arano K.G., Munn I.A. Evaluating Forest Management Intensity: A Comparison among Major Forest Landowner Types. *Forest Policy and Economics*, 2006, vol. 9, iss. 3, pp. 237–248. DOI: 10.1016/j.forpol.2005.07.011
  13. Helming K., Tscherning K., König B., Sieber S., Wiggering H., Kuhlman T., Wascher D., Perez-Soba M., Smeets P., Tabbush P., Dilly O., Hüttl R.F., Bach H. Ex Ante Impact Assessment of Land Use Change in European Regions – The SENSOR Approach. *Sustainability Impact Assessment of Land Use Changes*. Berlin, Springer, 2008, pp. 77–105.
  14. Hengeveld G.M., Nabuurs G.-J., Didion M., Van den Wyngaert I., Clerkx A.P.P.M., Schelhaas M.-J. A Forest Management Map of European Forests. *Ecology and Society*, 2012, vol. 17, no. 4, article no. 53. DOI: 10.5751/ES-05149-170453
  15. Punttila P., Autio O., Kotiaho J.S., Kotze D.J., Loukola O.J., Noreika N., Vuori A., Vepsäläinen K. The Effects of Drainage and Restoration of Pine Mires on Habitat Structure, Vegetation and Ants. *Silva Fennica*, 2016, vol. 50, no. 2. 31 p. DOI: 10.14214/sf.1462

Received on December 20, 2017

---

УДК 630\*232.32+630\*811.1

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.78

## ВЛИЯНИЕ НИЗКОЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА БИОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕЯНЦЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS* L.)

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

*Ф.С. Орлов<sup>1</sup>, канд. с.-х. наук*

*В.В. Беляев<sup>2</sup>, д-р с.-х. наук, проф.*

*П.А. Аксенов<sup>3</sup>, канд. с.-х. наук, доц.*

<sup>1</sup>Общество с ограниченной ответственностью «Разносервис», Лихов пер., д. 10, Москва, Россия, 127051; e-mail: 364-27-37@mail.ru, ap-6@yandex.ru

<sup>2</sup>Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лавёрова РАН, наб. Северной Двины, д. 23, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: beljaew29@mail.ru

<sup>3</sup>Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, ул. 1-я Институтская, д. 1, г. Мытищи, Московская обл., Россия, 141005; e-mail: axenov.pa@mail.ru

В работе представлены результаты исследования, которое проводилось в Устьянском лесном селекционно-семеноводческом центре Архангельской области. Цель исследования – изучение влияния низкочастотного электромагнитного поля на биометрические характеристики однолетних сеянцев сосны обыкновенной, выращиваемых с закрытой корневой системой в теплицах. Обработку сеянцев низкочастотным электромагнитным полем осуществляли с помощью генератора «Рост-Актив». Площадь эксперимента около 100 м<sup>2</sup>. Полученные результаты свидетельствуют о явном положительном влиянии подобной обработки, так как отмечено существенное увеличение биометрических показателей сеянцев сосны. В качестве дополнительного исследования проведен сравнительный гистометрический анализ микросрезов стволиков однолетних сеянцев на контрольных и опытных образцах. Результаты анализа также подтвердили значительное преимущество опыта над контролем. Таким образом, обработка растущих сеянцев сосны низкочастотным электромагнитным полем по предложенной технологии показала эффективность данного приема для интенсификации агротехники выращивания качественного посадочного материала сосны обыкновенной в лесных питомниках.

**Финансирование:** Исследования проведены в ходе выполнения государственного задания ФИЦКИА им. академика Н.П. Лавёрова РАН (№ гос. регистрации АААА-А18-118012390305-7).

**Для цитирования:** Смирнов А.И., Орлов Ф.С., Беляев В.В., Аксенов П.А. Влияние низкочастотного электромагнитного поля на биометрические характеристики сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) // Лесн. журн. 2019. № 2. С. 78–85. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.78

**Ключевые слова:** низкочастотное электромагнитное поле, сосна обыкновенная, сеянцы, обработка сеянцев низкочастотным электромагнитным полем, технология ПОСЭП, гистометрический анализ поперечных срезов.

### *Введение*

При выращивании сеянцев основных лесобразующих пород в лесных питомниках, особенно в промышленных масштабах, большое значение имеют эффективные, простые в применении и экологически безопасные технологии, позволяющие получать высококачественный посадочный материал [8]. В связи

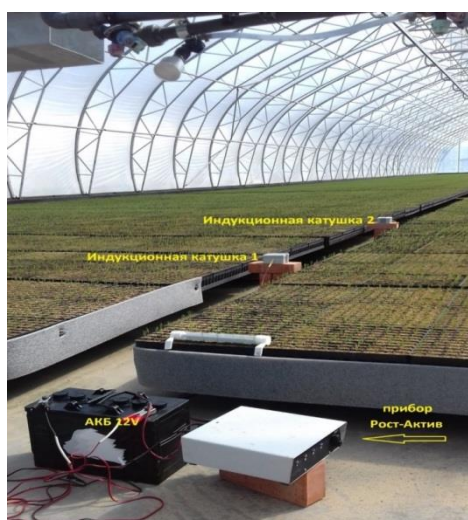
с этим все больший интерес у исследователей вызывает использование физических методов воздействия на качественные характеристики посевного и посадочного материала [1]. Известно, что предпосевная обработка семян сельскохозяйственных культур низкочастотным электромагнитным полем (ЭМП) способствует повышению их посевных качеств (энергии прорастания и всхожести), при этом подавляется активность патогенной микрофлоры [1, 10, 12–14]. Этот способ обработки, хорошо зарекомендовавший себя в сельском хозяйстве [2], мало изучен при выращивании лесокультурного материала. В лесном семеноводстве обработка семян хвойных пород низкочастотным ЭМП была использована впервые в 2012 г. На основе положительных результатов были разработаны простая в применении инновационная и экологически безопасная технология ПОСЭП (предпосевная обработка семян электромагнитным полем) [6] и прибор «Рост-Актив» – генератор низкочастотного ЭМП [7]. Дальнейшее изучение (2013–2016 гг.) [9] влияния низкочастотного ЭМП включало обработку семян и растущих сеянцев хвойных пород в лесных питомниках. Результаты исследования свидетельствуют об эффективности обработки низкочастотным ЭМП по технологии ПОСЭП как семян, так и сеянцев основных лесообразующих пород.

#### *Объекты и методы исследования*

13 июля 2017 г. в теплице Устьянского лесного селекционно-семеноводческого центра (УЛССЦ) Архангельской области низкочастотным ЭМП были обработаны однолетние сеянцы сосны обыкновенной. Сеянцы выращивались с закрытой корневой системой. Обработку проводили по технологии ПОСЭП, которая основана на использовании слабых электромагнитных пульсаций с фиксированной экспозицией. Продолжительность экспозиции (11 мин) подобрана экспериментально и является оптимальной при передаче необходимой энергии опытному объекту для активации биохимических изменений в целях стимулирования ростовых процессов. Воздействие на семена и сеянцы осуществлялось низкочастотным ЭМП с частотой 16 Гц при возрастающей от 0,4 до 2,0 мТл индукции магнитного поля генератора «Рост-Актив» (масса – 2 кг, питание от аккумуляторной батареи – 12 в). Устройство для предпосевной обработки посевного материала (рис. 1) содержит регулируемый по частоте в диапазоне 6...19 Гц задающий генератор и источник излучения электромагнитных волн [9].

Рис. 1. Процесс обработки низкочастотным ЭМП однолетних сеянцев сосны в теплицах УЛССЦ

Fig. 1. Pine yearlings processing with low-frequency EM field in greenhouses of the Ust'yanskiy Forest Breeding and Seed Center



По истечении трех месяцев после обработки, в конце сентября 2017 г., на учетных площадках были проведены отбор семян, замер их линейных параметров (точность линейных измерений  $\pm 1$  мм) и взвешивание (точность определения массы  $\pm 10$  мг). Для определения массы частей семян использовали весы AcomJW1. Влажность семян устанавливали гравиметрическим методом путем вычисления процента потери массы после высушивания (до постоянной массы) в сушильном шкафу при температуре 103 °С в соответствии с [3], зольность семян – как массовую долю сухого остатка после озольнения высушенной биомассы семян в муфельной печи [4].

Данные натуральных измерений обрабатывали с помощью программы Microsoft Excel.

Для гистометрического анализа поперечных срезов использовали методику, состоящую из следующих этапов:

– отбор модельных семян из групп «Обработка ЭМП» и «Контроль» (с применением случайного отбора посадочных строчек, по 20 семян сосны на группу);

– маркировка, упаковка и транспортировка семян в лабораторию;

– определение места положения корневой шейки на оси корень–стебель путем отложения расстояния от первых боковых корней;

– разрезание семени поперек оси стебля на 2...5 мм выше корневой шейки;

– зачистка поперечной поверхности торцевого среза стебля семени с помощью бритвы;

– получение поперечных срезов с помощью микротомы МС-2 и окраска в соответствии с общепринятой методикой [11];

– изготовление временных глицериновых препаратов в соответствии с общепринятой методикой [15];

– микроскопирование в прямом светопольном и поляризационном режимах на исследовательском биологическом микроскопе Jenoval (фирма «Carl Zeiss»), снабженном окуляр-микрометром и поляризаторами (микрообъективы: GF-Plan 12,5/0,25/160/0,17; Plan 9/0,2/160/0,17; Achromat 40/0,95/160/Cor 0,1–0,2; GF-Plan HI 100/1,25/160/0,17; срезы древесины фотографировали с помощью микрофотонасадки);

– определение гистометрических характеристик древесины на поперечных срезах представленных вариантов семян сосны (особенности прироста ксилемы, параметры трахеид и вертикальных смоляных ходов).

#### *Результаты исследования и их обсуждение*

Основные результаты сравнительных исследований представлены в таблице, где приведены средние значения, рассчитанные по 30–40 измерениям семян.

Данные таблицы свидетельствуют о том, что обработка растущих семян ЭМП существенно повлияла на их показатели. Высота опытных образцов превосходила контроль на 64 %. Это существенная разница, если учесть, что семена выращивались в теплицах. Проведено сравнение средней высоты однолетних семян сосны обыкновенной в вариантах эксперимента «Опыт ЭМП» и «Контроль» со стандартным значением. В качестве эталона сравнения была взята высота однолетнего семени сосны обыкновенной, равная 12 см в соответствии с приказом Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 29 июня 2016 г. № 375 [5]. В ходе осенних учетов показатели образцов контрольных семян оказались почти на 28 % ниже стандартного размера, а семена, обработанные низкочастотным ЭМП, по высоте превосходили стандарт на 19 %.

## Характеристика однолетних сеянцев сосны обыкновенной, обработанных ЭМП

Вариант опыта	Высота сеянца, см	Процент от высоты стандарта	Масса, г				Среднее значение, %	
			сеянца	стволика	хвои	корней	влажности	зольности
Контроль	8,7±0,37	72,5	0,74±0,045	0,14±0,010	0,31±0,018	0,29±0,017	43,47±2,4	3,61±0,14
Обработка ЭМП	14,3±0,72	119,0	1,21±0,066	0,29±0,028	0,48±0,029	0,44±0,032	58,87±2,6	4,10±0,16
Процент к контролю $t_p$	164	–	164	207	155	152	136	114
	6,9	–	5,8	5,0	4,9	4,1	4,4	2,2

Примечание.  $t_p$  – расчетное значение критерия Стьюдента;  $t_{ст}$  (при  $\alpha = 0,05$ ) = 2,05.

Таким образом, обработка низкочастотным ЭМП способствовала получению стандартного посадочного материала в более сжатые сроки, что, несомненно, даст положительный экономический эффект.

Наибольшее влияние обработка растущих сеянцев низкочастотным ЭМП оказала на увеличение средней массы стволиков, так в опыте она достигла 0,29 г при показателях в контроле 0,14 г, а к концу вегетационного сезона различие составило 107 %. Средняя масса хвои в опыте была выше контроля на 55 %, средняя масса корней – на 52 %. Разница масс целых растений для вариантов «Опыт ЭМП» и «Контроль» составила 64 %.

Кроме того, обработанные ЭМП сеянцы имеют большую влажность и содержат больше зольных элементов. Это указывает на более высокие показатели метаболической, прежде всего ассимиляционной, активности этих сеянцев. Результаты осенних учетов, полученные в конце вегетационного сезона 2017 г., показали, что обработка сеянцев сосны низкочастотным ЭМП в теплице способствовала увеличению их роста, накоплению ими надземной фитомассы, развитию корневой системы и ускорила получение стандартного посадочного материала. Различия средних показателей опытов во всех вариантах сравнений достоверны на уровне значимости 5 %. Внешний вид сеянцев, представленный на рис. 2, наглядно демонстрирует преимущество опытных образцов по сравнению с контрольными.



Рис. 2. Однолетние сеянцы сосны (слева – обработка ЭМП; справа – контроль)

Fig. 2. Pine yearlings (on the left – EMF treatment; on the right – control samples)

В целях изучения воздействия низкочастотного ЭМП на макро- и микроанатомические характеристики

древесины однолетнего посадочного материала сосны обыкновенной исследованы гистометрические характеристики поперечных срезов древесины стеблей (стволиков).

Сравнительно-анатомическое исследование двух вариантов (1 – обработка низкочастотным ЭМП; 2 – контроль) выявило следующие особенности строения ксилемы однолетних сеянцев:

ширина годичного кольца ксилемы при обработке ЭМП увеличилась на 15...25 % по сравнению с контролем;

в варианте 1 граница годичного кольца ксилемы выражена четче и почти не имеет разрывов;

общая выраженность, толщина и встречаемость сердцевидных лучей на анализируемых срезах заметно выше у варианта 1;

выраженность радиальной упорядоченности поперечных сечений трахеид на торцевых срезах одинакова в обоих вариантах опыта;

среднее число клеток в радиальном ряду: для варианта 1 –  $(47 \pm 10)$  шт./ряд, для варианта 2 –  $(36 \pm 12)$  шт./ряд;

толщина клеточных стенок трахеид годичного кольца ксилемы при обработке ЭМП заметно больше, чем в контроле;

участки первичной ксилемы выражены значительно лучше у варианта 1;

вертикальные смоляные ходы встречаются на 20...30 % чаще у варианта 1.

На рис. 3 приведены фотографии участков поперечных микросрезов стволиков однолетних сеянцев.

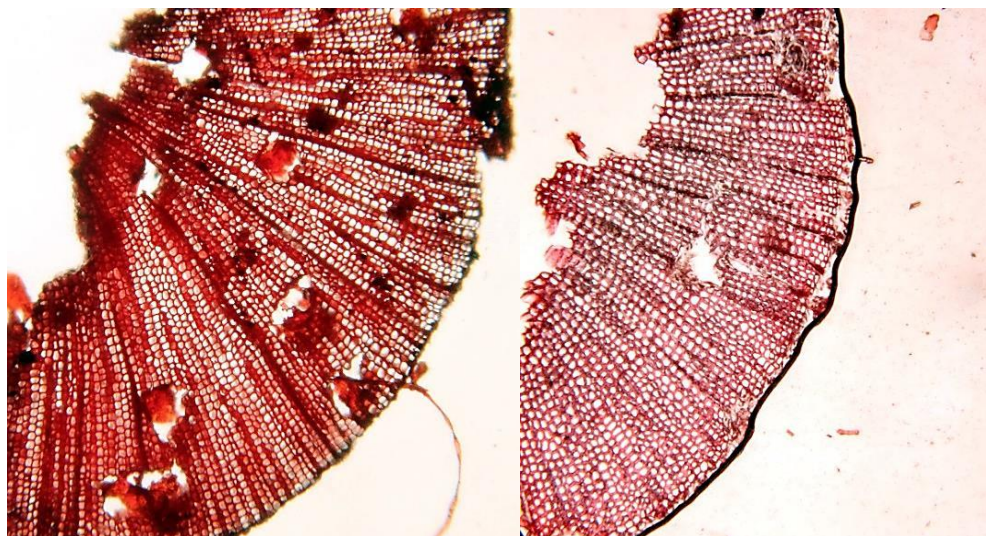


Рис. 3. Участки поперечных микросрезов стволиков однолетних сеянцев (слева – обработка ЭМП, справа – контроль; объектив – GF-Plan 12,5/0,25/160/0,17)

Fig. 3. Sites of transverse microsections of stipitates of yearlings (on the left – EMF treatment, on the right – control; microscope objective – GF-Plan 12.5/0.25/160/0.17)

Таким образом, обработка низкочастотным ЭМП привела к более быстрому формированию вторичной ксилемы основного стебля однолетних сеянцев сосны обыкновенной, при этом формирующиеся анатомические элементы



древесины имеют бóльшую толщину клеточных стенок в сравнении с контролем. Можно предположить, что выявленные изменения гистометрических характеристик варианта 1 будут способствовать повышению приживаемости семян, а также более интенсивному росту культур, заложенных с использованием посадочного материала, обработанного низкочастотным ЭМП.

#### Заключение

Сравнение ряда важнейших биометрических характеристик (высоты и массы семян, массы стволика, хвои и корней), влажности и зольности семян, гистометрических характеристик древесины стеблей однолетних семян выявило значительное превышение показателей опытных образцов по сравнению с контролем. Это указывает на ускорение ростовых процессов семян, обработанных низкочастотным ЭМП, что в свою очередь способствует получению стандартного посадочного материала в более сжатые сроки.

Использование низкочастотного ЭМП как способа повышения качества посадочного материала является принципиально новым и перспективным направлением, способным решать задачи развития лесного хозяйства России.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Анашева Л.М., Лобанов А.В., Комиссаров Г.Г.* Влияние флуктуирующего электромагнитного поля на ранние стадии развития растений // Докл. АН. 2006. Т. 406, № 1. С. 108–110.
2. *Голдаев В.К.* Электрическое поле и урожай // Сел. хоз-во. 1980. № 4. С. 30–31.
3. ГОСТ 16483.7–71. Древесина. Методы определения влажности. М.: Стандартинформ, 2006. 4 с.
4. ГОСТ Р 56881–2016. Биомасса. Определение зольности стандартным методом. М.: Стандартинформ, 2016. 8 с.
5. Об утверждении Правил лесовосстановления: приказ Минприроды России от 29.06.2016 № 375. (Зарегистрирован в миноюсте РФ 15 ноября 2016 г., регистрац. № 44342). Доступ из справ.-правовой системы «Крсультант Плюс».
6. Пат. РФ 2591969. Способ предпосевной обработки семян и устройство для его осуществления / Смирнов А.И., Орлов Ф.С. Оpubл. 20.07.14, Бюл. № 20.
7. Пат. РФ 155132. Устройство для предпосевной обработки посевного материала / Смирнов А.И., Орлов Ф.С. Оpubл. 20.09.15, Бюл. № 26.
8. *Родин А.Р., Попова Н.Я., Крестов Д.С.* Интенсификация выращивания лесопосадочного материала. М.: Агропромиздат, 1989. 78 с.
9. *Смирнов А.И.* Влияние низкочастотного электромагнитного поля на всхожесть семян и рост семян сосны обыкновенной в питомниках зоны смешанных лесов: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Мытищи, 2016. 20 с.
10. *Старухин Р.С., Белицин И.В., Хомутов О.И.* Метод предпосевной обработки семян с использованием эллиптического электромагнитного поля // Ползуновский вестн. 2009. № 4. С. 97–103.
11. *De Lucas M., EtcHELLS J.P.* Xylem. Methods and Protocols. New York: Humana Press, 2017. 262 p. DOI: 10.1007/978-1-4939-6722-3
12. *De Souza A., García D., Sueiro L., Licea L., Porras E.* Pre-Sowing Magnetic Treatment of Tomato Seeds: Effects on the Growth and Yield of Plants Cultivated Late in the Season // Spanish Journal of Agricultural Research. 2005. Vol. 3, no. 1. Pp. 113–122. DOI: 10.5424/sjar/2005031-131
13. *Fischer G., Tausz M., Köck M., Grill D.* Effect of Weak  $16\frac{2}{3}$  Hz Magnetic Fields on Growth Parameters of Young Sunflower and Wheat Seedlings // Bioelectromagnetics. 2004. Vol. 25, iss. 8. Pp. 638–641. DOI: 10.1002/bem.20058

14. Podleśny J., Pietruszewski S., Podleśna A. Influence of Magnetic Stimulation of Seeds on the Formation of Morphological Features and Yielding of the Pea // *International Agrophysics*. 2005. Vol. 19, nr. 1. Pp. 61–68.

15. Schweingruber F.H. Wood Structure and Environment. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007. 279 p.

Поступила 27.11.18

UDC 630\*232.32+630\*811.1

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.78

### **Influence of Low-Frequency Electromagnetic Field on Biometric Parameters of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Seedlings**

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

*F.S. Orlov*<sup>1</sup>, *Candidate of Agricultural Sciences*

*V.V. Belyaev*<sup>2</sup>, *Doctor of Agricultural Sciences, Professor*

*P.A. Aksenov*<sup>3</sup>, *Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor*

<sup>1</sup>Limited Liability Company “Raznoservis”, Likhov per., 10, Moscow, 127051, Russian Federation; e-mail: 364-27-37@mail.ru, ap-6@yandex.ru

<sup>2</sup>N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, RAS, Laboratory of Subsurface Geology and Dynamics of the Lithosphere, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 23, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: beljaew29@mail.ru

<sup>3</sup>Mytishchi Branch of Bauman Moscow State Technical University, ul. 1-ya Institutskaya, 1, Mytishchi, Moscow Region, 141005, Russian Federation; e-mail: axenov.pa@mail.ru

Results of the research, which was carried out on the base of Ust'yanskiy Forest Breeding and Seed Center in Arkhangelsk region, are discussed in this paper. The research purpose was to study the effect from low-frequency electromagnetic field (EMF) on biometric parameters of Scots pine yearlings grown with closed root network in greenhouses. Seedling treatment with low-frequency EMF was carried out using “Rost-Aktiv” generator. The experiment area was about 100 m<sup>2</sup>. The obtained results indicate a clear positive effect from such processing, since there is a significant increase in biometric parameters of pine seedlings. A comparative histometric analysis of yearling microsections of stipulates in the control and test samples was carried out as an extension study. Its results also showed a significant advantage of the test samples over control samples. Thus, the processing of growing pine seedlings with low-frequency EMF using the proposed technology has shown the effectiveness of the method for technique intensification of growing high-quality planting material of Scots pine in forest nurseries.

**Funding:** The research was carried out within the framework of the state assignment of N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, RAS (state registration no. AAAA-A18-118012390305-7).

**For citation:** Smirnov A.I., Orlov F.S., Belyaev V.V., Aksenov P.A. Influence of Low-Frequency Electromagnetic Field on Biometric Parameters of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Seedlings. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2019, no. 2, pp. 78–85. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.78

**Keywords:** low-frequency electromagnetic field, Scots pine, seedlings, seedling treatment with low-frequency EMF, technology of pre-sowing seed treatment with EMF, histometric analysis of cross sections.



## REFERENCES

1. Apasheva L.M., Lobanov A.V., Komissarov G.G. Effect of Alternating Electromagnetic Field on Early Stages of Plant Development. *Doklady Biochemistry and Biophysics*, 2006, vol. 406, iss. 1, pp. 108–110. DOI: 10.1134/S1607672906010017
2. Goldayev V.K. Electric Field and Harvest. *Sel'skoye khozyaystvo*, 1980, no. 4, pp. 30–31.
3. *GOST 16483.7-71. Wood. Methods for Humidity Determination*. Moscow, Standartinform Publ., 2006. 4 p.
4. *GOST R 56881-2016. Biomass. Determination of Ash by the Standard Method*. Moscow, Standartinform Publ., 2016. 8 p.
5. *On the Approval of Reforestation Rules: Order of the Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation of June 29, 2016, no. 375* (Registered in the Ministry of Justice of the Russian Federation on November 15, 2016, registration no. 44342).
6. Smirnov A.I., Orlov F.S. *Method of Preplanting Treatment of Sowing Material and Device Therefor*. Patent RF, 2591969, 2014.
7. Smirnov A.I., Orlov F.S. *Device for Pre-Sowing Seed Treatment*. Patent RF no. 155132, 2014
8. Rodin A.R., Popova N.Ya., Krestov D.S. *Growing Intensification of Seedlings*. Moscow, Agropromizdat Publ., 1989. 78 p.
9. Smirnov A.I. *Influence of Low-Frequency Electromagnetic Field on Seed Germination and Growth of Scots Pine Seedlings in Nurseries of the Mixed Forest Zone*: Cand. Agric. Sci. Diss. Abs. Mytishchi, 2016. 20 p.
10. Starukhin R.S., Belitsyn I.V., Khomutov O.I. Method of Presowing Seed Treatment Using an Elliptical Electromagnetic Field. *Polzunovsky vestnik*, 2009, no. 4, pp. 97–103.
11. De Lucas M., Etchells J.P. *Xylem. Methods and Protocols*. New York, Humana Press, 2017. 262 p. DOI: 10.1007/978-1-4939-6722-3
12. De Souza A., García D., Sueiro L., Licea L., Porras E. Pre-Sowing Magnetic Treatment of Tomato Seeds: Effects on the Growth and Yield of Plants Cultivated Late in the Season. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 2005, vol. 3, no. 1, pp. 113–122. DOI: 10.5424/sjar/2005031-131
13. Fischer G., Tausz M., Köck M., Grill D. Effect of Weak  $16\frac{2}{3}$  Hz Magnetic Fields on Growth Parameters of Young Sunflower and Wheat Seedlings. *Bioelectromagnetics*, 2004, vol. 25, iss. 8, pp. 638–641. DOI: 10.1002/bem.20058
14. Podleśny J., Pietruszewski S., Podleśna A. Influence of Magnetic Stimulation of Seeds on the Formation of Morphological Features and Yielding of the Pea. *International Agrophysics*, 2005, vol. 19, nr. 1, pp. 61–68.
15. Schweingruber F.H. *Wood Structure and Environment*. New York, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007. 279 p.

Received on November 27, 2018

---



УДК 630\*3

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.86

## К ВОПРОСУ ОБ ОРГАНИЗАЦИИ РУБОК С ПРИМЕНЕНИЕМ БЕНЗОМОТОРНЫХ ПИЛ И МИНИ-ТРАКТОРОВ

*Э.Ф. Герц, д-р техн. наук, доц.*

*Н.Н. Теринов, д-р с.-х. наук*

Уральский государственный лесотехнический университет, Сибирский тракт, д. 37,  
г. Екатеринбург, Россия, 620100; e-mail: gerz.e@mail.ru, n\_n\_terinov@mail.ru

Рубки ухода в средневозрастных и приспевающих древостоях, а также выборочные рубки низкой интенсивности предполагают снижение доли волоков, что достигается при разрубке широких пасек. Одним из технологических приемов разработки части пасеки, удаленной от пасечного волока и недосягаемой для манипулятора лесозаготовительной машины, является включение в технологический процесс бензомоторной пилы и мини-трактора. Задача мини-трактора – подтрелевка заготовленной бензопилой древесины к пасечному волоку в зону досягаемости манипулятора харвестера. Весь комплекс работ, выполняемых при помощи бензомоторной пилы и мини-трактора, может производиться по двум вариантам: одним рабочим, использующим механизмы поочередно по мере необходимости, что приводит к простоя одного из механизмов; двумя рабочими, каждый из которых пользуется одним из механизмов, следовательно, механизмы задействованы на протяжении всего рабочего дня. В качестве основного критерия для выбора варианта организации лесозаготовительных работ на лентах, не досягаемых для манипуляторов лесозаготовительных машин, предлагается использовать себестоимость. Расчет себестоимости заготовки и подтрелевки сортиментов двумя или одним рабочим в удаленных от пасечного волока частях полупасек проводили для следующих условий: средний объем вырубаемых деревьев – соответственно 0,13...0,22 и 0,23...0,36 м<sup>3</sup>, среднее расстояние подтрелевки древесины – 58 м. Часовая тарифная ставка оплаты труда рабочего варьировалась в диапазоне от 100 до 3000 р. Выявлено, что граница предпочтительности той или иной формы организации определяется, при прочих равных условиях, средним объемом вырубаемых деревьев и часовой ставкой оплаты труда рабочего. Установлено, что при низких уровнях оплаты труда предпочтительной является организация работ с привлечением двух рабочих, а по мере повышения часовой ставки рабочего приоритет меняется в пользу одного рабочего, использующего оба механизма по мере необходимости.

**Для цитирования:** Герц Э.Ф., Теринов Н.Н. К вопросу об организации рубок с применением бензомоторных пил и мини-тракторов // Лесн. журн. 2019. № 2. С. 86–94. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.86

**Ключевые слова:** выборочные рубки, широкие пасеки, мини-трактор, бензомоторная пила, организация рубок, минимальные затраты.

### *Введение*

Принципы устойчивого лесопользования предполагают переход от сплошных рубок к выборочным, что соответствует требованиям интенсифи-

кации производства. Интенсивное лесопользование предусматривает проведение комплекса рубок ухода. Обзор оборудования, используемого для выполнения рубок, свидетельствует об ориентации на узкопосечные, т. е. сплошные, рубки. Выборочные рубки и рубки ухода в приспевающих насаждениях предполагают рубку широких пасек с возможностью снижения интенсивности изреживания древостоя до 20...15 %. Современные лесозаготовительные машины, имеющие вылет манипулятора до 11 м, такой возможности не дают. Радикальное увеличение вылета манипулятора у этих машин невозможно в силу ряда причин [5].

Разрубка лент пасеки, недосягаемых для манипуляторных лесозаготовительных машин (ЛЗМ), дополнительным оборудованием, включенным в систему машин (бензомоторные пилы и мини-тракторы с двигателями, исключая минерализацию почвы при маневрировании), обеспечивает максимальное сохранение компонентов насаждения, формируемого рубками [11], однако приводит, как правило, к увеличению себестоимости рубок и заготовленной древесины в целом [1, 6, 10]. Дополнительное преимущество использования мини-трактора при рубках ухода в молодняках состоит в исключении излома стволов вырубаемых деревьев [7]. Очевидно, что одним из вариантов минимизации негативного воздействия на экономическую эффективность процесса от введения дополнительных операций и, соответственно, дополнительного оборудования является рациональная организация работы на лентах, недосягаемых для манипуляторов ЛЗМ, а также комбинирование операций, выполняемых одним рабочим [3, 4, 8, 9].

#### *Объекты и методы исследования*

Технологический процесс разработки боковых лент пасек, недосягаемых для манипуляторов ЛЗМ, с применением бензомоторной пилы и мини-трактора может быть организован по двум вариантам: операционный и комбинированный. В первом случае каждая операция технологического процесса осуществляется одним рабочим, во втором – степень комбинирования и число операций, выполняемых одним рабочим, могут быть различными. Целесообразность применения бензомоторной пилы одним рабочим (валка, обрезка сучьев, раскряжевка) показана нами в работе [4]. В качестве альтернативы этому можно предложить следующее:

– выполнение комплекса операций двумя рабочими: один осуществляет все технологические операции бензомоторной пилой (валит деревья, назначенные в рубку, в том числе при необходимости отбирает деревья в рубку; обрезает сучья; при сортиментной технологии дополнительно раскряжевывает хлыст и окучивает маломерные сортименты); второй рабочий при помощи трелевочного мини-трактора производит подбор лесоматериалов, их погрузку и подтрелевку к волоку;

– выполнение комплекса операций одним рабочим, использующим для этого в необходимой последовательности бензомоторную пилу и мини-трактор.

Предпочтительность той или иной формы организации труда, как и целесообразность реализации технологического процесса, может быть определена с учетом экономических, экологических и социальных критериев [1, 3]. В качестве таких критериев могут быть использованы себестоимость, риски

(вероятность) повреждения компонентов формируемого древостоя, снижение физической нагрузки на рабочего или на его отдельные группы мышц за счет исключения однообразных и монотонных движений, причем себестоимость [1] в приведенном перечне можно рассматривать как доминирующий фактор, а другие – в качестве ограничений. Таким образом, за целевую функцию примем минимум себестоимости по комплексу работ (валке, обрезке сучьев, раскряжевке, подтрелевке древесины к пасечному волоку):

$$C^{n+m} \Rightarrow \min. \quad (1)$$

Себестоимость заготовки и подтрелевки древесины к пасечному волоку с лент, не достигаемых для манипуляторных ЛЗМ, при выполнении комплекса операций с использованием бензомоторной пилы и мини-трактора двумя рабочими определяется суммой стоимости содержания этих механизмов и их производительностью:

$$C^{n+m} = \left( \frac{C^n}{\Pi^n} + \frac{C^m}{\Pi^m} \right) Q_1, \quad (2)$$

где  $C^n$ ,  $\Pi^n$  – себестоимость машиносмены и сменная производительность бензомоторной пилы;  $C^m$ ,  $\Pi^m$  – себестоимость машиносмены и сменная производительность мини-трактора;  $Q_1$  – объем выполненных работ.

Себестоимость работ при выполнении комплекса операций, производимых при помощи бензомоторной пилы и мини-трактора, по валке, обрезке сучьев, раскряжевке и подтрелевке древесины к волоку одним рабочим в очередности, обусловленной технологическим процессом:

$$C^{n+m} = Q_1 (C^n + C^m) / \Pi^{n(m)}. \quad (3)$$

Сменная производительность поочередно используемых механизмов (оборудования) в едином цикле выравнивается и сокращается за счет простоев, однако несколько возрастает за счет относительного сокращения времени, затраченного на переходы между вырубаемыми деревьями [4].

Определим себестоимость содержания машиносмены оборудования, используемого для выполнения работ на лентах пасеки, не достигаемых для манипуляторов ЛЗМ:

$$C^{n(m)} = Z + Z_e + P_m + q_{топл} + \Gamma + H + q_{пр}, \quad (4)$$

где  $Z$  – зарплата основных рабочих с начислениями и доплатами;  $Z_e$  – основная и дополнительная зарплата вспомогательных рабочих и обслуживающего персонала;  $P_m$  – стоимость текущих ремонтов оборудования;  $q_{топл}$  – стоимость топлива;  $\Gamma$  – стоимость смазочных материалов;  $H$  – стоимость амортизационных отчислений;  $q_{пр}$  – стоимость прочих производственных затрат (10 % от всех затрат).

Основная и дополнительная зарплата тракториста с начислениями:

$$Z = TT_m (1 + K_d), \quad (5)$$

где  $T$  – продолжительность смены, ч;  $T_m$  – часовая тарифная ставка рабочего, р.;  $K_d$  – суммарный нормативный коэффициент доплат к основной зарплате.

В зарплату вспомогательных рабочих и обслуживающего персонала включается зарплата вспомогательных рабочих, занятых на содержании трак-

торов (подвозка воды и горюче-смазочных материалов, подогрев воды и смазочных масел, охрана и перебазирование оборудования, прогрев тракторов зимой). Тогда основная и дополнительная зарплата вспомогательных рабочих с начислениями:

$$Z_g = T n_g T_g (1 + K_g), \quad (6)$$

где  $n_g$  – трудозатраты на содержание механизмов;  $T_g$  – часовая тарифная ставка вспомогательных рабочих;  $K_g$  – коэффициент доплат к основной зарплате вспомогательных рабочих.

Затраты на текущий ремонт состоят из затрат на профилактическое обслуживание и текущий ремонт трелевочных тракторов. Затраты на ремонтное обслуживание механизмов, приходящиеся на одну машиносмену, могут быть определены исходя из балансовой стоимости и годовых отчислений на текущий ремонт:

$$P_m = \frac{C_m \Psi}{100 t}, \quad (7)$$

где  $C_m$  – балансовая стоимость механизма;  $\Psi$  – отчисления на технический уход и текущий ремонт за год, % от первоначальной стоимости механизма;  $t$  – количество рабочих смен в году.

Расход топлива зависит в основном от мощности двигателя и степени его загрузки:

$$q_{\text{топл}} = T \eta_N \eta_T q_n N, \quad (8)$$

где  $\eta_N$  – коэффициент использования мощности двигателя;  $\eta_T$  – коэффициент использования двигателя по времени;  $q_n$  – норматив расхода топлива на 1 кВт/ч;  $N$  – мощность двигателя, кВт.

Расход смазочных масел устанавливается в процентах от расхода топлива: для дизельных двигателей  $\Gamma = 0,07 q_{\text{топл}}$ .

Нормы амортизационных отчислений предназначены для полной реновации первоначальной стоимости и проведения капитальных ремонтов. Годовой размер амортизационных отчислений обычно устанавливается в процентах к балансовой стоимости оборудования:

$$H = \frac{C_m + \sum K - \Delta}{T_a C_m} 100 \%, \quad (9)$$

где  $H$  – годовая норма амортизационных отчислений, % от балансовой стоимости механизма;  $C_m$  – балансовая стоимость механизма;  $\sum K$  – стоимость всех капитальных ремонтов за период службы механизма;  $\Delta$  – ликвидационная стоимость,

$$\Delta = P_k n F_m; \quad (10)$$

$P_k$  – конструкционная масса механизма;  $n$  – выход металлолома от конструкционного веса, доли от единицы;  $F_m$  – стоимость 1 кг металлолома;  $T_a$  – амортизационный период.

Определим размер амортизационных отчислений за смену:

$$A = \frac{C_m H}{100t}. \quad (11)$$

Характеристика механизмов и условия, принятые в расчетах.

Мини-трактор:

мощность – 4 кВт;

вес – 400 кг;

скорость – 6 км/ч;

цена – 750 тыс. р.

Бензомоторная пила:

мощность – 2,5 кВт;

цена – 35 000 р.

Стоимость топлива для мини-трактора – 30 р.

Стоимость топлива для бензомоторной пилы – 35 р.

Диапазон варьирования часовой ставки рабочего – от 100 до 3 000 р.

Количество рабочих дней в году – 260.

Коэффициент использования мощности двигателя – 0,7.

Коэффициент использования двигателя по времени – 0,6.

Выход металлолома от конструкционной массы – 0,8.

Себестоимость заготовки и трелевки сортиментов двумя или одним рабочим в удаленных от пасечного волока частях полупасек рассчитывали для следующих условий: средний объем вырубемых деревьев – соответственно 0,13...0,22 и 0,23...0,36 м<sup>3</sup>, среднее расстояние трелевки древесины – 58 м.

Норма времени на выполнение операций валки, обрезки сучьев, раскряжевки для древостоя со средним объемом вырубемого ствола 0,13...0,22 и 0,23...0,32 м<sup>3</sup> составила соответственно 0,991 и 0,787 ч/м<sup>3</sup> [4].

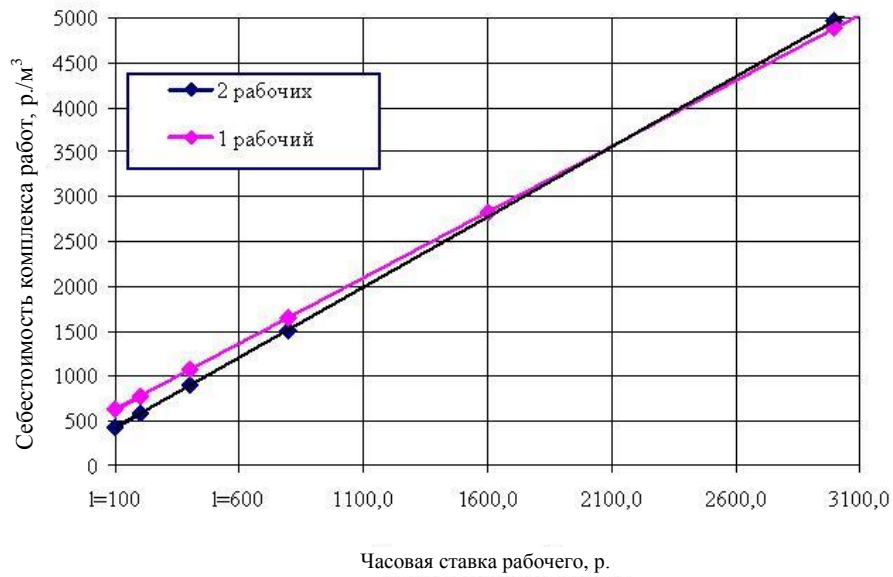
Часовая производительность мини-трактора при среднем расстоянии трелевки 58 м по данным [2] – 2,3 м<sup>3</sup>, норма времени – 0,435 ч/м<sup>3</sup>. Нормы времени на выполнение всех операций одним рабочим снижены в расчетах на 9 % [4].

#### *Результаты исследования и их обсуждение*

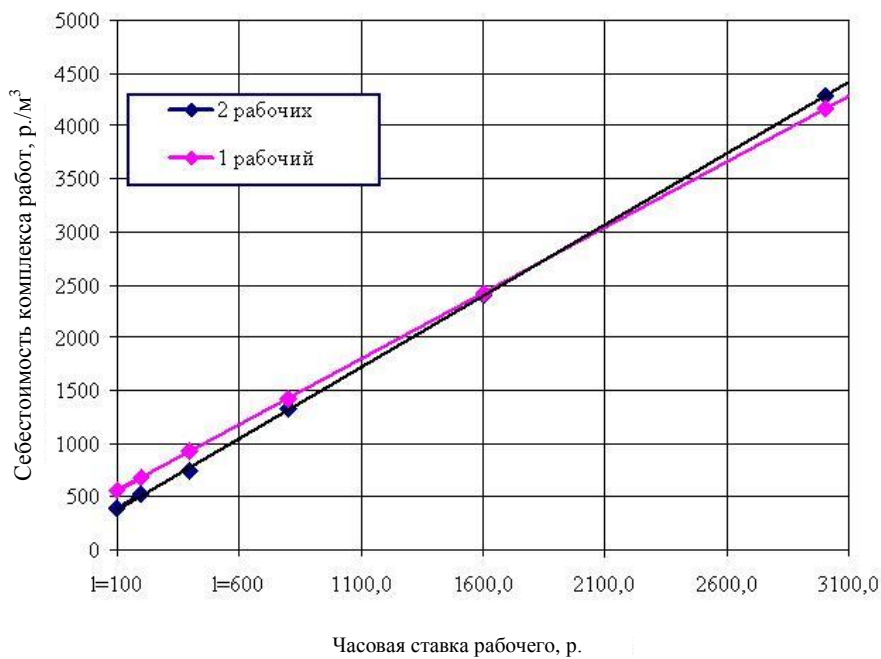
Зависимость себестоимости работ по заготовке сортиментов (при проведении выборочных рубок в елово-пихтовых древостоях со средним объемом ствола 0,13...0,22 и 0,23...0,32 м<sup>3</sup>), их подтрелевке к волоку мини-трактором от часовой ставки рабочего в случае выполнения работ одним и двумя рабочими представлена на рисунке.

Величина часовой ставки оплаты труда рабочего оказывает существенное влияние на себестоимость заготовленных сортиментов, причем в мелко-товарных древостоях эта зависимость выражена сильнее.

При минимальных ставках оплаты труда рабочего в рассмотренных размерных группах древостоев предпочтительным является выполнение комплекса работ двумя рабочими. Граница предпочтительности выполнения комплекса работ одним рабочим смещается в древостоях большей крупности к меньшим уровням часовой ставки рабочего.



а



б

Зависимость себестоимости комплекса работ по заготовке и подтрелевке сортиментов к пасечным волокам при выборочных рубках в елово-пихтовых древостоях со средним объемом ствола 0,13...0,22 м<sup>3</sup> (а) и 0,23...0,32 м<sup>3</sup> (б) от часовой ставки рабочего

The dependence of prime cost of complex of works in logging and hauling-in of assortments to skidding trails during selective thinning in spruce-fir stands with the average trunk volume of 0.13...0.22 м<sup>3</sup> (а) and 0.23...0.32 м<sup>3</sup> (б) on hourly rate of a worker

### Заключение

Таким образом, на выбор рациональной формы организации рубок с применением бензомоторной пилы и мини-трактора оказывают влияние, при прочих равных условиях, уровень оплаты труда рабочего и объем вырубаемых деревьев.

1. Повышение часовой ставки рабочего от 100 до 3000 р. ведет к увеличению суммарной себестоимости заготовки и подтрелевки сортиментов к паечному волоку:

при среднем объеме вырубаемых деревьев  $0,13...0,22 \text{ м}^3$  и выполнении комплекса операций двумя рабочими себестоимость возрастает от 419 до  $4967 \text{ р./м}^3$ , а при выполнении комплекса операций одним рабочим – от 630 до  $4890 \text{ р./м}^3$ ;

при среднем объеме вырубаемых деревьев  $0,23...0,32 \text{ м}^3$  и выполнении комплекса операций двумя рабочими себестоимость возрастает от 382 до  $4278 \text{ р./м}^3$ , а при выполнении комплекса операций одним рабочим – от 552 до  $4161 \text{ р./м}^3$ .

2. При среднем объеме вырубаемых деревьев  $0,13...0,22 \text{ м}^3$  суммарная себестоимость выполнения комплекса операций по заготовке сортиментов и их подтрелевке к волоку в диапазоне тарифной ставки от 100 до 2200 р./ч ниже при участии двух рабочих, а при ставке более 2200 р./ч суммарная себестоимость выполнения комплекса операций ниже при их проведении одним рабочим.

3. При среднем объеме вырубаемых деревьев  $0,23...0,32 \text{ м}^3$  суммарная себестоимость выполнения комплекса операций по заготовке сортиментов и их подтрелевке к волоку в диапазоне тарифной ставки от 100 до 1800 р./ч ниже при участии двух рабочих, а при ставке более 1800 р./ч суммарная себестоимость выполнения комплекса операций ниже при их проведении одним рабочим.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Азаренок В.А., Герц Э.Ф., Силуков Ю.Д. Алгоритм выбора технологии и системы машин для выполнения рубок // Аграр. вестн. Урала. 2012. № 1(93). С. 35–36.
2. Валяжонков В.Д., Мясущев Д.Г. Особенности малой механизации лесозаготовок за рубежом // Лесн. журн. 2005. № 6. С. 64–69. (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Герц Э.Ф., Азаренок В.А., Лившиц Н.В., Мехренцев А.В. К вопросу о целесообразности применения операции подтрелевки при несплошных рубках // Лесн. журн. 2002. № 3. С. 44–48. (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Герц Э.Ф., Теринов Н.Н. Рациональная организация выборочной рубки с использованием бензомоторной пилы и мини-трактора // Перм. аграр. вестн. 2017. № 4(20). С. 152–157.
5. Иевинь И.К., Розинь Т.Я. Доступность деревьев при машинной рубке выборочным способом // Комплексная механизация рубок ухода. Рига: Зинатне, 1975. С. 61–75.
6. Harstela P. Work Postures and Strain of Workers in Nordic Forest Work: A Selective Review // International Journal of Industrial Ergonomics. 1990. Vol. 5, iss. 3. Pp. 219–226. DOI: 10.1016/0169-8141(90)90058-A
7. Luthy C., Gerz E. Zange oder Seilwinde? // Wald und Holz. No. 1.15/94. Pp. 22–25.



8. Magagnotti N., Spinelli R. Financial and Energy Cost of Low-Impact Wood Extraction in Environmentally Sensitive Areas // *Ecological Engineering*. 2011. Vol. 37, iss. 4. Pp. 601–606. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2010.12.021

9. Marchi E., Picchio R., Spinelli R., Verani S., Certini G. Environmental Impact Assessment of Different Logging Methods in Pine Forests Thinning // *Ecological Engineering*. 2014. Vol. 70. Pp. 429–436. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2014.06.019

10. Spinelli R., Magagnotti N., Relano R.L. An Alternative Skidding Technology to the Current Use of Crawler Tractors in Alpine Logging Operations // *Journal of Cleaner Production*. 2012. Vol. 31. Pp. 73–79. DOI: 10.1016/j.jclepro.2012.02.033

11. Vusić D., Šušnjar M., Marchi E., Spina R., Zečić T., Picchio R. Skidding Operations in Thinning and Shelterwood Cut of Mixed Stands – Work Productivity, Energy Inputs and Emissions // *Ecological Engineering*. 2013. Vol. 61, part A. Pp. 216–223. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2013.09.052

Поступила 04.09.18

UDC 630\*3

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.86

### On the Issue of Thinning Schedule Using Gasoline Saws and Mini Skidders

*E.F. Gerts, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor*

*N.N. Terinov, Doctor of Agricultural Sciences*

Ural State Forest Engineering University, Sibirskiy trakt, 37, Yekaterinburg, 620100, Russian Federation; e-mail: gerz.e@mail.ru, n\_n\_terminov@mail.ru

Improvement thinning of middle-aged and maturing forest stands, as well as selective thinning of low intensity assumes a decrease in a part of trails, which can be achieved during cutting of broad swathes. One of the technological methods for developing a part of a swath remote from skidding trail and inaccessible for harvester grapple is the use of gasoline saw and mini skidder in technological process. Hauling-in to the skidding trails (reach area of harvester grapple) wood logged with a gasoline saw is carried out using a mini skidder. There are two possible thinning schedules for providing the whole complex of works using gasoline saw and mini skidder. The first one is performed by a worker who uses mechanisms one at a time as and when necessary, which leads to downtime of one of the mechanisms. The second is performed by two workers. Each of them uses one of the mechanisms and, therefore, mechanisms are used throughout the working day. Prime cost is proposed as the main criterion for selecting the thinning schedule on sites inaccessible for the harvester grapples. Prime cost calculation of logging and hauling-in of assortments by one or two workers in the remote from skidding trail parts of half-swathes was done for the following conditions: the average volumes of felling trees are 0.13–0.22 and 0.23–0.36 m<sup>3</sup>, respectively; the average distance of wood hauling-in is 58 m. The worker's hourly rate ranged from 100 to 3000 rub. It has been revealed that the limit of preference of one or another schedule is determined, all else equal, by the average volume of felling trees and hourly rate of worker. It was determined that at low levels of payment for work thinning schedule with two workers is preferable, while with the increase of hourly rate preference is changing in favor of one worker using both mechanisms as necessary.

**For citation:** Gerts E.F., Terinov N.N. On the Issue of Thinning Schedule Using Gasoline Saws and Mini Skidders. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2019, no. 2, pp. 86–94. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.86

**Keywords:** selective thinning, broad forest swathes, mini skidder, gasoline saw, thinning schedule, minimum costs.

## REFERENCES

1. Azarenok V.A., Gerz E.F., Silukov J.D. Algorithm for Selecting Technologies and System Machines for Cutting. *Agrarnyj vestnik Urala*, 2012, no. 1(93), pp. 35–36.
2. Valyazhonkov V.D., Myasishchev D.G. Peculiarities of Small Mechanization of Forest Harvesting Abroad. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2005, no. 6, pp. 64–69.
3. Gerts E.F., Asarenok V.A., Livshits N.V., Mekhrentsev A.V. To Question of Expediency of Using Hauling Operations in Non-clear Cutting. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2002, no. 3, pp. 44–48.
4. Gerz E.F., Terinov N.N. Rational Organization of Selective Cutting Using a Gasoline Saw and Minitractor. *Permskiy agrarnyy vestnik* [Perm Agrarian Journal], 2017, no. 4(20), pp. 152–157.
5. Iyevin' I.K., Rozin' T.Ya. Accessibility of Trees under Machine Cutting by the Selective Method. *Comprehensive Mechanization of Improvement Thinning*. Riga, Zinatne Publ., 1975, pp. 61–75.
6. Harstela P. Work Postures and Strain of Workers in Nordic Forest Work: A Selective Review. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 1990, vol. 5, iss. 3, pp. 219–226. DOI: 10.1016/0169-8141(90)90058-A
7. Luthy C., Gerz E. Zange oder Seilwinde? *Wald und Holz*, no. 1.15/94, pp. 22–25.
8. Magagnotti N., Spinelli R. Financial and Energy Cost of Low-Impact Wood Extraction in Environmentally Sensitive Areas. *Ecological Engineering*, 2011, vol. 37, iss. 4, pp. 601–606. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2010.12.021
9. Marchi E., Picchio R., Spinelli R., Verani S., Certini G. Environmental Impact Assessment of Different Logging Methods in Pine Forests Thinning. *Ecological Engineering*, 2014, vol. 70, pp. 429–436. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2014.06.019
10. Spinelli R., Magagnotti N., Relaño R.L. An Alternative Skidding Technology to the Current Use of Crawler Tractors in Alpine Logging Operations. *Journal of Cleaner Production*, 2012, vol. 31, pp. 73–79. DOI: 10.1016/j.jclepro.2012.02.033
11. Vusić D., Šušnjar M., Marchi E., Spina R., Zečić T., Picchio R. Skidding Operations in Thinning and Shelterwood Cut of Mixed Stands – Work Productivity, Energy Inputs and Emissions. *Ecological Engineering*, 2013, vol. 61, part A, pp. 216–223. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2013.09.052

Received on September 04, 2018

---

УДК 634.0.377

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.95

## ЛЕСОВОЗНЫЕ АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДОРОГИ В ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

*Е.В. Чернышова, канд. техн. наук*

*А.В. Скрыпников, д-р техн. наук, проф.*

*В.В. Самцов, экстерн, ст. преподаватель*

*М.А. Абасов, экстерн, ст. преподаватель*

Воронежский государственный университет инженерных технологий, просп. Революции, д. 19, г. Воронеж, Россия, 394036; e-mail: elenabok@mail.ru, skrypnikov-vsafe@mail.ru, samcovVV@mail.ru, maxAb@mail.ru

Основным назначением лесовозных автомобильных дорог как технологических путей лесопромышленного предприятия является сбор и вывозка заготовленного леса. Рассредоточенность лесных запасов по площади предполагает наличие совокупности дорог, различных по своей капитальности и срокам действия, технологически увязанных в единую транспортную сеть предприятия. На структуру транспортной сети и размещение отдельных составляющих ее дорог в лесном массиве оказывает влияние целый ряд факторов. Противоречивые требования, предъявляемые к параметрам транспортных средств на вывозке лесоматериалов по дорогам низких категорий и капитальным магистралям, при больших расстояниях вывозки привели к разработке технологии двухступенчатой вывозки со специализацией транспортных средств, созданием перегрузочных пунктов древесины и соответствующим изменением структуры лесотранспортных путей. Руководствуясь разработанными ранее рекомендациями при камеральном трассировании конкретной лесовозной дороги, проектировщик вынужден укладывать трассу методом проб и ошибок, во многом полагаясь на свой опыт и интуицию. Принципиальную трудность при этом представляют неоднородность местности трассирования (рельефные, грунтовые и гидрологические особенности), необходимость учитывать концентрацию и размещение запасов древесины, а также соблюдать нормы проектирования. Разрешение противоречия между повышающимися требованиями к качеству проектируемых лесовозных дорог, с одной стороны, и примитивными способами их трассирования, с другой, следует искать в разработке принципиально новых методов поиска оптимальных решений на этапе камерального трассирования лесотранспортных путей при широком использовании математических методов и информационных технологий, а также отечественного и зарубежного опыта в этой области.

**Для цитирования:** Чернышова Е.В., Скрыпников А.В., Самцов В.В., Абасов М.А. Лесовозные автомобильные дороги в транспортной сети лесопромышленного предприятия // Лесн. журн. 2019. № 2. С. 95–101. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.95

**Ключевые слова:** лесовозная автомобильная дорога, трассирование, система автоматизированного проектирования.

### *Введение*

Одними из основных факторов, влияющих на структуру транспортной сети и размещение отдельных составляющих ее дорог в лесном массиве, являются природно-климатические условия района расположения лесопромыш-

ленного предприятия, таксационные характеристики древостоев, в первую очередь неравномерность распределения запасов древесины по площади, рельефные, почвенно-грунтовые и гидрологические особенности территории лесосырьевой базы, обеспеченность района местными дорожно-строительными материалами, расположение карьеров, продолжительность зимнего и летнего периодов, распределение осадков по временам года, периоды весенней и осенней распутиц и др. Степень влияния перечисленных факторов на параметры лесотранспортной сети и их значимость для различных предприятий неодинаковы.

Каждое конкретное лесопромышленное предприятие стремится компенсировать неблагоприятные воздействия одних факторов и максимально использовать преимущества других за счет подбора соответствующей технологии заготовки и вывозки древесины, а также использования набора технических средств, реализующих эту технологию.

#### *Объекты и методы исследования*

Объектом исследования служит лесовозная автомобильная дорога, а также процесс ее трассирования и проектирования. В ходе исследования рассматриваются методы автоматизированного проектирования лесовозных автомобильных дорог и их продольного профиля.

#### *Результаты исследования и их обсуждение*

Сезонность вывозки заготовленного леса компенсируется за счет создания технологических запасов у трасс лесовозных автомобильных дорог, на резервных или промежуточных складах [6, 9], выделения зон зимней и летней вывозки и т. д. Такое разнообразие технологических решений находит свое отражение в различных принципах построения дорожной сети конкретных лесопромышленных предприятий.

Наряду с широко распространенной практикой постепенного проектирования и строительства магистральных дорог по мере продвижения лесозаготовок вглубь лесного массива рекомендуется использовать разовое проектирование и строительство лесовозных магистралей на всю или значительную длину лесосырьевой базы предприятия. При этом магистраль и ветки объединяются в одну категорию пути, а дорога размещается по схеме «магистраль–усы–волоки».

Авторы работ [4, 5] предлагают изменить существующую традиционную структуру лесовозных автомобильных дорог «магистраль–ветка–усы–волоки» на схему «магистраль–усы–волоки» или даже на «магистраль–волоки» с параллельным расположением магистралей, сооружаемых за счет высвободившихся средств через 2...3 км.

Пять схем транспортного освоения, отличающихся количеством параллельно расположенных зимних и летних магистралей в зависимости от грузооборота нижнего склада, рассматриваются в работе [7].

Несмотря на многообразие технологических решений, как практически реализованных, так и рекомендуемых, анализ существующих схем транс-

портного освоения лесных массивов позволяет выделить в качестве типичных для проектирования именно лесотранспортных путей следующие две задачи:

1. Трассирование лесовозной автомобильной дороги для вывозки объема древесины, сосредоточенного в конечной точке пути, которая может быть транзитной. Подобная задача возникает при трассировании усов лесовозных дорог от контура лесосеки до точки их примыкания к ветке, дорог от перегрузочных пунктов хозяйственных дорог, транзитных участков веток и магистралей между точками примыкания к ним дорог низших категорий и т. д.

2. Трассирование лесовозной автомобильной дороги для вывозки нескольких объемов древесины, сосредоточенных в конечных точках, быть может транзитных, путей более низкой категории, примыкающих непосредственно к трассируемой дороге. Эта задача характерна для трассирования веток и магистралей лесовозных автомобильных дорог, грузосборочных дорог и т. д.

Во втором случае к трудностям, характерным для задач трассирования автомобильных дорог общего назначения, соединяющих, например, два населенных пункта, добавляются специфические сложности лесовозных автомобильных дорог, обусловленные их функциональным назначением.

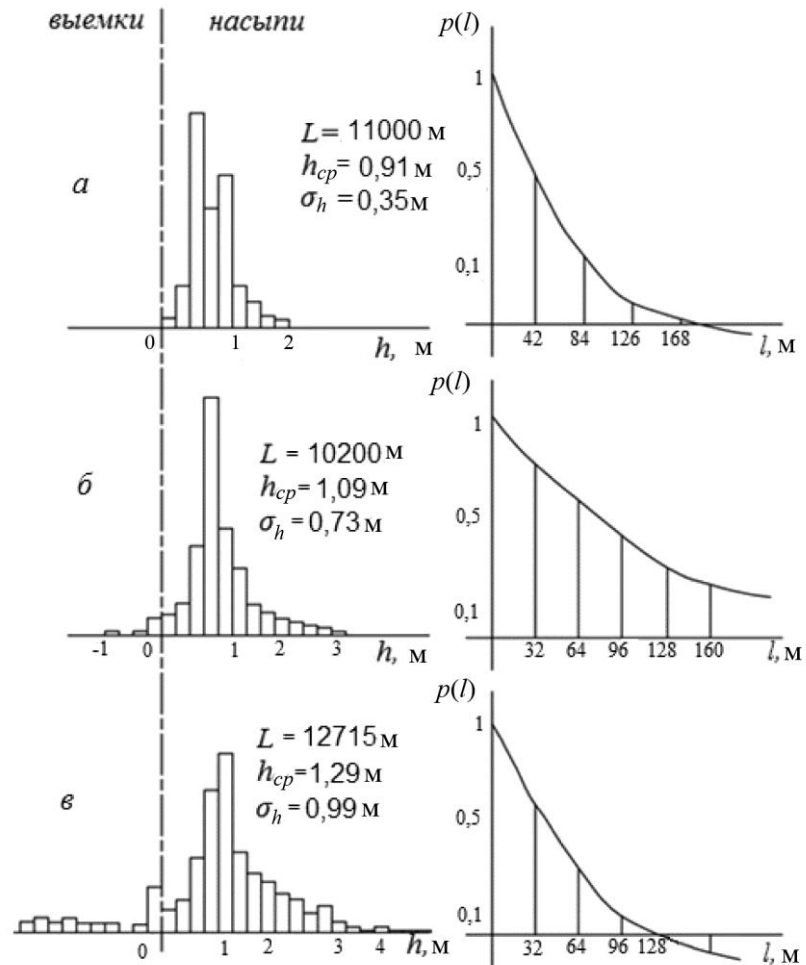
Необходимость учитывать размещение и концентрацию лесных запасов приводит к тому, что задача трассирования второго типа носит ярко выраженный пространственный характер, когда на положение дороги влияют не только локальные условия местности вблизи трассы, рельефные, грунтовые, гидрологические, но и удаленные от трассы участки лесного массива, для вывозки древесины из которых и предназначена проектируемая дорога.

Как отмечалось выше, принципиальную трудность при камеральном трассировании автомобильной дороги представляют рельеф и неоднородность района трассирования (под «неоднородной местностью» будем понимать территорию с выделенными участками (областями неоднородности), отличающимися затратами на строительство и содержание 1 км дороги, – озера, болота, овраги, участки местности с различными по условиям разработки грунтами, территории, запрещенные для трассирования, и т. п.).

Кроме перечисленных факторов, влияющих на положение лесовозной автомобильной дороги на местности, при решении задачи оптимального трассирования следует учитывать односторонность грузового потока, которая накладывает различные ограничения на продольные уклоны пути; в порожнем направлении допускаются более крутые подъемы, чем в грузовом.

Лесовозные автомобильные дороги с переходным типом покрытия, как правило, проектируются по обертывающей (или огибающей), когда проектная линия повторяет в основном естественные изгибы земной поверхности. При сооружении земляного полотна этих дорог преобладают насыпи высотой 0,5...1,5 м с небольшим разбросом рабочих отметок.

На рисунке приведены статистические характеристики трех лесовозных автомобильных дорог с гравийным покрытием, полученные обработкой ведомостей поикетных объемов земляных работ из рабочих проектов ООО «Атлантида» [3].



Статистические характеристики продольных профилей лесовозных автомобильных дорог с переходным типом покрытия: *а* – ветка; *б* – лесовозная дорога; *в* – лесовозная и хозяйственная дороги (где  $L$  – протяженность рассматриваемого участка дороги;  $h_{cp}$  – средняя для данного участка высота насыпи земляного полотна;  $\sigma_h$  – разброс рабочих отметок)

Statistical characteristics of longitudinal sections of logging roads with transition pavement: *a* – side track; *б* – forest road; *в* – forest and tore road (where  $L$  – length of the considered road section;  $h_{cp}$  – average depth of earthwork fill for this site;  $\sigma_h$  – dispersion of position factors)

Общую картину позволяет составить совместный анализ двух основных характеристик продольного профиля – гистограммы рабочих отметок и нормированной автокорреляционной функции  $p(l)$  ( $l$  – длина участка) продольного профиля, рассматриваемого как случайная функция пикетных отметок [1]. Высокая плотность значений рабочих отметок имеет небольшие среднеквадратические отклонения, не превышающие 1 м.

Отдельные короткие участки с высокими насыпями до 5 м приходятся, как правило, на места мостовых переходов через водотоки или другие искусственные сооружения и могут быть предусмотрены заранее при анализе ситу-

ации по картам или материалам аэрофотосъемки. Медленное убывание автокорреляционной функции  $\rho(l)$  отражает более тесную связь близлежащих отметок профиля дороги и, соответственно, меньший статистический разброс их значений, чем для удаленных друг от друга точек трассы. Плавный характер изменения соседних рабочих отметок продольного профиля, огибающего без резких перепадов линию земли, приводит к тому, что расхождение соседних рабочих отметок существенно меньше их максимального разброса для всей трассы, за исключением отдельных «особых» участков, о которых было сказано выше.

Результаты проведенных исследований лесовозных автомобильных дорог в целях разработки методов автоматизированного проектирования их продольного профиля позволили установить, что основным методом построения проектной линии этих дорог является огибающее проектирование [8, 10].

Вывод о преобладании принципа наложения проектной линии по огибающей для автомобильных дорог общего назначения приведен в [2, 3]. В этих работах исследовалась корреляционная связь параметров продольного профиля автомобильных дорог и рельефа местности путем сравнения двух случайных функций:  $X(l)$  – линии продольного профиля местности по оси трассы;  $\varphi(l)$  – линии продольных уклонов дороги.

Нормированные корреляционные и взаимная корреляционная функции обеих случайных функций  $X(l)$  и  $\varphi(l)$ , построенные по материалам обработки проектов 8 участков дорог общей протяженностью 99,8 км, практически полностью совпадали, что свидетельствует о тесной взаимосвязанности изучаемых объектов и преобладании принципа проектирования автомобильных дорог по обертывающей.

#### *Заключение*

Анализ научно-исследовательских разработок в области транспортного освоения лесных массивов показывает, что в основе традиционного камерального трассирования линейных объектов по топографическим картам в горизонталях или по материалам аэрофотосъемки лежат методы проектирования по огибающей, среди которых широко используется распространенный способ укладки линии нулевых работ на участках напряженного хода трассы дороги.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Донперт В.А.* и др. Модель многоуровневого процесса последовательной переработки многоуровневых интегрированных структур в лесопромышленном комплексе / Воронеж. гос. лесотехн. акад. Рукоп. деп. 17.07.2006, № 938-B2006.
2. *Курьянов В.К., Скрыпников А.В., Урюпин А.И.* Стратегия управления запаса годности машины в процессе управления ее ремонтным обеспечением на уровне элемента / Воронеж. гос. лесотехн. акад. Рукоп. деп. 07.11.2007, № 1027-B2007.
3. *Курьянов В.К., Скрыпников А.В., Ярошутин А.С., Донперт В.А.* Управление дорожно-строительными потоками многоуровневых интегрированных структур в лесопромышленном комплексе / Воронеж. гос. лесотехн. акад. Рукоп. деп. 26.06.2006, № 859-B2006.
4. *Скрыпников А.В.* Алгоритм комплексного моделирования процесса функционирования автомобильной лесовозной дороги. М.: МГУЛ, 2005. 6 с.

5. *Скряпников А.В.* Оценка транспортно-эксплуатационных свойств автомобильных лесовозных дорог с учетом движения нескольких скоростных групп автомобилей по однополосной дороге без обгона. М.: МГУЛ, 2005. 5 с.

6. *Умаров М.М., Скряпников А.В., Чернышова Е.В., Микова Е.Ю.* Применение цифровых моделей местности для трассирования лесных автомобильных дорог // Лесн. журн. 2018. № 2. С. 58–69. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.58

7. *Kozlov V.G., Skrypnikov A.V., Chernyshova E.V., Mogutnov R.V., Levushkin D.M.* Mathematical Modeling of Damage Function when Attacking File Server // Journal of Physics: Conference Series. 2018. Vol. 1015. Article no. 032069. 11 p. DOI: 10.1088/1742-6596/1015/3/032069

8. *Ptitsyn P.S., Radko D.V., Skrypnikov A.V.* Development of the Method for Integration of Mobile Applications and Corporate Information Systems // Journal of Digital Information Management. 2016. Vol. 14, no. 5. Pp. 322–332.

9. *Skrypnikov A.V., Chernyshova E.V., Zemlyanukhin M.Yu.* Firewall as a Tool of Implementation of Security Policy // Science and Education: Materials of the VIII International Research and Practice Conference, Munich, March 19–20, 2015. Munich: Publishing office Vela Verlag Waldkraiburg, 2015. Pp. 345–350.

10. *Skrypnikov A.V., Dorokhin S., Kozlov V.G., Chernyshova E.V.* Mathematical Model of Statistical Identification of Car Transport Informational Provision // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2017. Vol. 12, iss. 2. Pp. 511–515.

Поступила 02.11.18

UDC 634.0.377

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.95

### **Logging Roads in a Transportation Network of a Forest Industrial Enterprise**

*E.V. Chernyshova, Candidate of Engineering Sciences*

*A.V. Skrypnikov, Doctor of Engineering Sciences, Professor*

*V.V. Samtsov, External Student, Senior Lecturer*

*M.A. Abasov, External Student, Senior Lecturer*

Voronezh State University of Engineering Technologies, pr. Revolyutsii, 19, Voronezh, 394036, Russian Federation; e-mail: elenabok@mail.ru, skrypnikovvsafe@mail.ru, samcovVV@mail.ru, maxAb@mail.ru

Primary use of logging roads as technological routes of a forest industrial enterprise consists of timber gathering and hauling. Distribution of forest reserves by area implies the existence of a set of roads different in their importance and useful time technologically linked into the united transportation network of the enterprise. Structure of the transportation network and location of certain components of its roads in the forest area is affected by the wide range of factors. Conflicting requirements for the vehicle parameters of timber hauling down the secondary roads and highways for long haul distances led to the development of a two-step haulage technology with vehicle's specialization, creation of wood transfer points and corresponding change in the structure of timber transportation routes. Guided by the existing recommendations for the cameral laying out of a certain logging road, a designer is forced to lay out the route through trial and error, broadly relying on his experience and intuition. Fundamental difficulties in this case are heterogeneity of the laying out terrain (relief, ground and hydrological features), necessity to consider concentration and placement of wood stocks, as well as observation the design regulations. Resolution of contradiction between the increasing quality requirements for the designing logging roads, on the one hand, and the primitive methods of their laying out, on the other, should be sought in the



development of fundamentally new methods of optimizing at the stage of cameral laying out of hauling routes based on the wide use of mathematical methods and information technologies, as well as local and foreign experience in this field.

**For citation:** Chernyshova E.V., Skrypnikov A.V., Samtsov V.V., Abasov M.A. Logging Roads in a Transportation Network of a Forest Industrial Enterprise. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2019, no. 2, pp. 95–101. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.95

**Keywords:** logging road, laying out, computer-aided design system.

#### REFERENCES

1. Doppert V.A. et. al. *Multilevel Process Model of Sequential Processing of Multilevel Integrated Structures in the Forest Industry Complex*. Voronezh State Forestry Engineering Academy. Deposited Manuscript. 17.07.2006, no. 938-B2006.

2. Kur'yanov V.K., Skrypnikov A.V., Uryupin A.I. *Strategy for Managing the Roadworthiness of a Car in Maintenance Support at the Element Level*. Voronezh State Forestry Engineering Academy. Deposited Manuscript. 07.11.2007, no. 1027-B2007

3. Kur'yanov V.K., Skrypnikov A.V., Yaroshutin A.S., Doppert V.A. *Management of Road-Building Flows of Multilevel Integrated Structures in the Forest Industry Complex*. Voronezh State Forestry Engineering Academy. Deposited Manuscript. 26.06.2006, no. 859-B 2006.

4. Skrypnikov A.V. *Algorithm of Complex Simulation of Operation Process of a Logging Road*. Moscow, MGUL Publ., 2005. 6 p.

5. Skrypnikov A.V. *Assessment of Transport and Operational Properties of Logging Roads Taking into Account the Movement of Several High-Speed Groups of Cars on a Single-Lane Road without Overtaking*. Moscow, MGUL Publ., 2005. 5 p.

6. Umarov M.M., Skrypnikov A.V., Chernyshova E.V., Mikova E.Yu. Digital Elevation Model for Forest Road-Location. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2018, no. 2, pp. 58–69. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.58

7. Kozlov V.G., Skrypnikov A.V., Chernyshova E.V., Mogutnov R.V., Levushkin D.M. Mathematical Modeling of Damage Function when Attacking File Server. *Journal of Physics: Conference Series*, 2018, vol. 1015, Article no. 032069. 11 p. DOI: 10.1088/1742-6596/1015/3/032069

8. Ptitsyn P.S., Radko D.V., Skrypnikov A.V. Development of the Method for Integration of Mobile Applications and Corporate Information Systems. *Journal of Digital Information Management*, 2016, vol. 14, no. 5, pp. 322–332.

9. Skrypnikov A., Dorokhin S., Kozlov V.G., Chernyshova E.V. Mathematical Model of Statistical Identification of Car Transport Informational Provision. *ARN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2017, vol. 12, iss. 2, pp. 511–515.

10. Skrypnikov A.V., Chernyshova E.V., Zemlyanukhin M.Yu. Firewall as a Tool of Implementation of Security Policy. *Science and Education: Materials of the VIII International Research and Practice Conference, Munich, March 19–20, 2015*. Munich, Publishing office Vela Verlag Waldkraiburg, 2015, pp. 345–350.

Received on November 02, 2018



## МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 674.05:620.16

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.102

### ПОВЫШЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПОДАЮЩИХ УСТРОЙСТВ ДЕРЕВОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

*Е.А. Памфилов<sup>1</sup>, д-р техн. наук, проф.*

*Г.А. Пилюшина<sup>1</sup>, канд. техн. наук*

*Е.В. Шевелева<sup>2</sup>, канд. техн. наук*

*Я.С. Прозоров<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доц.*

*П.Г. Пыриков<sup>1</sup>, д-р техн. наук, проф.*

<sup>1</sup>Брянский государственный технический университет, бул. 50-летия Октября, д. 7, г. Брянск, Россия, 241035; e-mail: epamfilov@yandex.ru, gal-pi2009@yandex.ru, yprozorov@gmail.com, pyrikovpg@mail.ru

<sup>2</sup>Брянский государственный инженерно-технологический университет, просп. Станке Димитрова, д. 3, г. Брянск, Россия, 241037; e-mail: elshev78@yandex.ru

Работоспособность подающих механизмов лесозаготовительного и деревоперерабатывающего оборудования определяется достигаемым сцеплением рабочих элементов вальцов с перемещаемыми заготовками, стабильность которого в значительной степени зависит от задаваемой при проектировании и реализуемой в процессе изготовления геометрии и физико-химических свойств материалов шипов, осуществляющих захват, удержание и непрерывное перемещение заготовок в зону обработки. В процессе эксплуатации геометрические параметры шипов изменяются вследствие изнашивания, которое является результатом действия сложной совокупности механических, химических, температурных и иных воздействий, сопровождающих процесс фрикционно-деформационного взаимодействия рабочих элементов подающих устройств и перемещаемой древесины. Изношенные шипы не обеспечивают надежного перемещения заготовки вследствие ее проскальзывания, что обуславливает снижение качества получаемых изделий и приводит к интенсификации изнашивания режущего инструмента. В то же время особенности влияния геометрической формы шипов на усилия сцепления подающих вальцов с перемещаемыми заготовками в условиях проявления триботехнических характеристик, обеспечивающих их работоспособность, не исследованы в достаточной для практического использования степени. Цель исследования – уточнение условий фрикционно-механического взаимодействия рабочих элементов вальцов с древесиной и выявление закономерностей изнашивания рабочих поверхностей шипов, что позволяет теоретически обосновать их рациональную геометрическую форму и требования к физико-химическим характеристикам рекомендуемых материалов. Для этого рассмотрен характер действующих нагрузок, реализующийся в зоне контакта металлических поверхностей шипов с древесиной при перемещении заготовок. Представлена картина изменения силового взаимодействия шипов с древесными заготовками, начиная с момента контакта отдельного шипа до выхода его из зацепления. Ее анализ показал, что уже в начале контакта на вершинную часть шипа начинает действовать ударная изгибающая нагрузка, которая в случае достижения пиковых значений нередко приводит к износу путем выкрашивания достаточно крупных микрообъемов подающих шипов. Вероятность проявления такого характера разрушения наиболее велика при недостаточной прочности используемого материала,

наличии дефектов его структуры, особенно неблагоприятно расположенных микро-трещин, и действия опасных растягивающих остаточных напряжений. Перечисленные факторы также существенно влияют на протекание коррозионно-механического изнашивания рабочих поверхностей шипов и сопротивление их перемещению в древесной среде. Таким образом, основным фактором эффективной транспортировки заготовки в зону ее обработки и достижения высокой износостойкости подающих вальцов является оптимизация геометрии шипов, свойств назначаемых материалов и технологии упрочняющей обработки рассматриваемых деталей.

*Для цитирования:* Памфилов Е.А., Пилюшина Г.А., Шевелева Е.В., Прозоров Я.С., Пыриков П.Г. Повышение работоспособности подающих устройств деревоперерабатывающего оборудования // Лесн. журн. 2019. № 2. С. 102–110. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.102

*Ключевые слова:* фрикционно-механический контакт, подающие вальцы, работоспособность, трение, сцепление, изнашивание, геометрическая форма, триботехнические параметры, нагрузка.

### *Введение*

Повышение надежности лесозаготовительного и деревоперерабатывающего оборудования обеспечивается за счет увеличения долговечности и безотказности его основных механизмов, среди которых важная роль принадлежит подающим устройствам, выполняющим перемещение древесных заготовок в зону обработки. При этом надежность фрикционно-механического контакта металлических инденторов (шипов) с обрабатываемыми заготовками в существенной степени обусловлена физико-механическими свойствами древесины и ее способностью удерживать внедренные в нее имплантанты в течение определенного технологического цикла [2, 3, 5, 6].

Стабильность сцепления рабочих элементов вальцов с перемещаемыми заготовками гарантирует безотказную эксплуатацию оборудования. При этом необходимо, чтобы в течение заданного времени сохранялись требуемые геометрические параметры шипов, которые постепенно изменяются в процессе работы механизма подачи вследствие изнашивания. Такая картина поверхностного разрушения является результатом действия сложной совокупности механических, химических, температурных и иных воздействий, сопровождающих процесс фрикционного взаимодействия. Как показывают многочисленные исследования, уровень таких воздействий и физико-химические параметры поверхностных слоев материалов, используемых для изготовления подающих вальцов, и определяют сопротивляемость их изнашиванию [13, 14]. Выполненный ранее анализ состояния и перспектив повышения работоспособности подающих вальцов показал, что необходимый ее уровень может быть обеспечен как за счет снижения негативных эксплуатационных воздействий при работе узла подачи, так и посредством оптимизации параметров состояния функциональных поверхностных слоев, определяющих сопротивляемость материала деталей изнашиванию [4, 11].

Таким образом, повышение работоспособности рассматриваемых деталей можно обеспечить за счет обоснованного формирования благоприятных геометрических параметров изнашиваемых поверхностей шипов и изготовления их из материалов, обладающих высокими триботехническими характеристиками, достигаемыми в процессе целесообразного назначения способов и

режимов формирования и упрочнения. Это должно одновременно обеспечивать как рекомендуемую геометрию рабочих поверхностей, так и получение благоприятных значений физико-механических и химических характеристик формируемого поверхностного слоя материала шипов. Кроме того, очень важно оптимизировать остаточное напряженное состояние функциональных поверхностных слоев и минимизировать в них наличие структурных дефектов, в частности микротрещин, по своей протяженности превышающих выявленные критические значения.

Цель исследования – уточнение условий трибомеханического взаимодействия рабочих элементов вальцов с перемещаемой древесиной и выявление закономерностей изнашивания рабочих поверхностей шипов, что позволит обосновать их рациональную геометрическую форму и назначить возможные методы выполнения эффективной упрочняющей обработки.

*Исследование особенностей нагружения и изнашивания шиповых элементов фрикционно-механических подающих устройств*

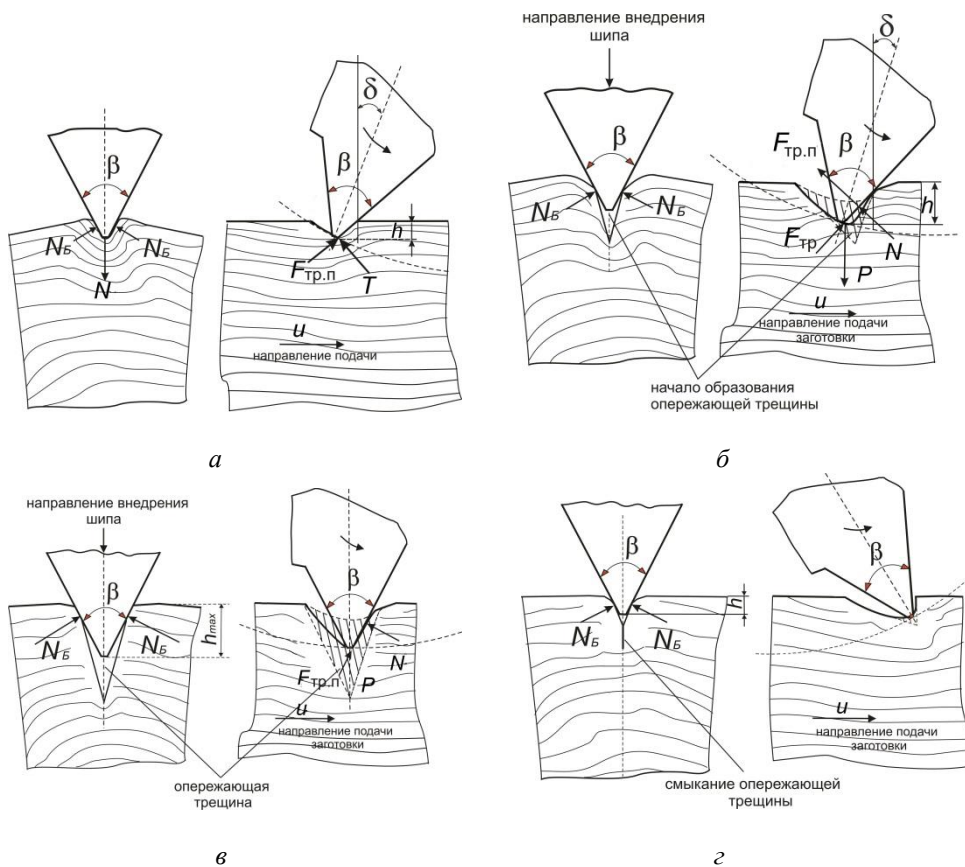
Износостойкость подающих вальцов лесозаготовительных машин и оборудования для переработки древесного сырья во многом обусловлена протеканием процесса трибомеханического сцепления рабочих элементов с древесиной и характером взаимодействия с ней при перемещении заготовки. Поэтому для решения задачи повышения износостойкости шипов необходимо знание эксплуатационных нагрузок, действующих в зоне контакта поверхностей шипов с древесиной, и информации о характере сил и динамике их приложения в период контакта отдельного шипа с древесной заготовкой. Указанная информация может быть получена в результате анализа величин нагрузок и особенностей изменения их в процессе работы [3–5].

На рисунке представлены схемы отдельных этапов взаимодействия шипа, имеющего широко распространенную форму четырехгранной пирамиды, с перемещаемой заготовкой и характер действующих при этом сил.

На каждом из эскизов (см. рисунок, *а*, *б*) с левой стороны изображены поперечные сечения шипа в зоне его взаимодействия с древесиной, справа – продольные сечения. Как видно, на начальном этапе взаимодействия шипа с заготовкой происходит ударный контакт его вершинной части и обрабатываемого материала. Направление действия этой нагрузки совпадает с направлением вектора окружной скорости рассматриваемого шипа, а ее величина определяется состоянием, породой и факторами, характеризующими неравномерность прочностных характеристик поверхностного слоя древесного сырья например вследствие наличия вросших сучков и т. п.

При этом на шип действует совокупность сил, носящих преимущественно изгибающий характер. По мере поворота вальца угол  $\delta$ , характеризующий отклонение оси шипа от радиального направления его внедрения, уменьшается от  $\delta_{\max}$ , наблюдаемого в начале контакта с перемещаемой заготовкой, до 0 при максимальном заглублении. В результате действующая на шип нагрузка до этого момента возрастает, после чего она резко снижается.

В общем случае силы, действующие на рабочие поверхности шипа, представляют собой совокупность сил сопротивления смятию древесины  $N$  и ее составляющих на передние  $N_{\text{п}}$  и боковые  $N_{\text{б}}$  поверхности шипа, а также и



Этапы внедрения шипа в заготовку при его взаимодействии с древесиной: *а* – начало контакта; *б* – процесс внедрения; *в* – максимальное заглубление; *г* – выход из зацепления ( $\beta$  – угол заострения шипа;  $P$  – осевая нагрузка;  $F_{тр}$  – сила трения волокон древесины)

Stages of implementation of a tenon interacting with wood into the working blank: *a* – begin of contact; *б* – implementation; *в* – maximum penetration; *г* – recession ( $\beta$  – tenon cutting edge angle;  $P$  – axial load;  $F_{тр}$  – friction force of wood fibers)

сил трения  $F_{тр.п}$  и  $F_{тр.б}$ , действующих при перемещении шипа в образуемом отпечатке. Значения этих сил могут быть рассчитаны по следующим формулам:

$$N = \sigma_{см} S_K;$$

$$F_{тр.п} = N_{п} \mu_{п}; \quad F_{тр.б} = N_{б} \mu_{б},$$

где  $\sigma_{см}$  – предел прочности древесины на сжатие (смятие) поперек волокон;  $S_K$  – площадь смятия, изменяющаяся по мере заглубления шипа;  $\mu_{п}$  и  $\mu_{б}$  – коэффициенты трения древесины по передним и боковым поверхностям шипа.

При анализе возможностей повышения износостойкости валцов следует учитывать, что к износу путем выкрашивания достаточно крупных микрообъемов вершинной части подающих шипов приводит совокупная изгибающая нагрузка, равная  $T + N_{б} \mu_{б}$  ( $T$  – изгибающая нагрузка на переднюю поверхность шипа). Вероятность реализации такого разрушения наиболее велика при недостаточной прочности материала и наличии дефектов его структуры, особенно неблагоприятно расположенных микротрещин, и действию

опасных растягивающих остаточных напряжений. Такое микроразрушение происходит при ударном приложении нагрузок, чаще всего при контакте шипа с аномально прочными зонами древесного материала, например с сучками или сторонними включениями повышенной твердости [5, 7].

Углубляясь далее в древесину, шип продолжает ее деформировать. При этом боковые грани шипов вращающегося вальца стремятся расклинить и разъединить волокна древесины в поперечном направлении. В результате сплошность древесины нарушается с образованием в определенный момент опережающей трещины. Далее шип заглубляется до максимальной величины  $h$ , а образовавшаяся опережающая трещина продолжает распространяться вглубь древесного материала. В результате волокна древесины в большей степени растягиваются по боковым поверхностям шипа, плотнее охватывая их, что увеличивает силы сопротивления возможному проскальзыванию шипа при перемещении заготовки.

После достижения максимальной глубины внедрения шипом тормозящая сила, действующая на него со стороны деформированных волокон древесины, начинает снижаться. При этом уменьшается роль передней поверхности шипа в перемещении древесной заготовки. Это связано с динамикой процесса взаимодействия шипа с древесиной, в результате чего нарушается контакт передней поверхности индентора с заготовкой при повороте его в лунке контактирования (см. рисунок, *в*). В результате боковые поверхности шипа совершают основную работу по перемещению бревна за счет действия сил трения, удерживающих шип. Величина этих сил возрастает от минимума в начале контакта до максимума в зоне максимального заглубления. Затем, по мере выхода шипа из зацепления с перемещаемой заготовкой (см. рисунок, *г*), фрикционно-механический контакт шипа с древесиной постепенно прекращается и нагрузка на него снижается до 0.

Поэтому для повышения тягового усилия вальцов необходимо в максимальной степени обеспечивать плотный контакт передней поверхности шипа с поверхностью его отпечатка в древесине. Это представляется возможным путем придания передней поверхности шипа цилиндрической формы.

С позиции повышения износостойкости боковых поверхностей шипов целесообразным является придание им криволинейного профиля, соответствующего геометрии естественного эксплуатационного изнашивания, что теоретически обосновано и экспериментально подтверждено в работах [1, 4]. Такая форма позволяет помимо минимизации износа и стабилизации его величины по всей поверхности изнашивания более эффективно использовать возможности методов поверхностного упрочнения.

Кроме задания благоприятной геометрической формы шипов, необходимо формирование на них износостойких функциональных слоев, способных сопротивляться коррозионно-механическому изнашиванию древесиной. Для достижения такого результата на основе рационального выбора конструктивных материалов или покрытий целесообразно использовать рекомендации, изложенные в работах [8–10, 12, 15–17].

В качестве таких материалов для изготовления шипованных колец можно применять высокопрочные чугуны марок ВЧ60, ВЧ70, а в особо ответственных случаях – высоколегированные хромоникелевые стали, в сочетании с поверхностной упрочняющей обработкой с нагревом токами высокой частоты

(ТВЧ) или пластическим деформированием эластичным инструментом, или лазерной обработкой на глубину 0,3...0,4 мм [3, 4, 11, 14].

Положительные результаты работы подтверждены в процессе экспериментальных исследований и производственной проверки опытных образцов в условиях контрольной эксплуатации на лесопильных предприятиях.

### *Заключение*

Установлены закономерности нагружения и изнашивания шиповых подающих механизмов лесозаготовительных и деревоперерабатывающих машин, используя которые можно полагать, что для повышения тягового усилия шипов и достижения более высокой их износостойкости целесообразно придание боковым поверхностям шипов криволинейной параболической формы, воспроизводящей геометрию естественного износа. При этом для увеличения тягового усилия профиль поперечного сечения фронтальной поверхности шипа должен иметь форму цилиндра с радиусом, обеспечивающим непрерывный контакт с поверхностью лунки, образующейся при внедрении шипа вглубь перемещаемой древесины.

Для повышения износостойкости и прочности подающих шипов целесообразно использовать при их изготовлении высокопрочные чугуны, подвергнутые упрочняющей обработке в виде закалки с нагревом ТВЧ или поверхностного пластического деформирования, а для наиболее ответственных подающих механизмов, обладающих повышенной прочностью и износостойкостью, рационально применять высоколегированные хромоникелевые стали с лазерной обработкой фронтальной и боковых поверхностей шипа.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бершадский Л.И.* Основы теории структурной приспособляемости и переходных состояний трибосистем и ее приложение к задачам повышения надежности зубчатых и червячных передач: дис. ... д-ра техн. наук. Киев, 1982. 394 с.
2. *Гороховский К.Ф., Лившиц Н.В.* Машины и оборудование лесосечных и лесоскладских работ: учеб. пособие. М.: Экология, 1991. 528 с.
3. *Памфилов Е.А., Пилюшина Г.А.* Возможности и перспективные пути повышения работоспособности машин и оборудования лесного комплекса // Лесн. журн. 2013. № 5. С. 129–141. (Изв. высш. учеб. заведений).
4. *Пилюшина Г.А.* Повышение работоспособности деталей подающих устройств лесопильного оборудования: дис... канд. техн. наук. Брянск, 2004. 148 с.
5. *Пилюшина Г.А., Памфилов Е.А.* Повышение работоспособности лесопильного оборудования // Лесн. журн. 2007. № 4. С. 85–91. (Изв. высш. учеб. заведений).
6. *Пилюшина Г.А., Пыриков П.Г., Рухлядко А.С.* Повышение работоспособности рабочих органов оборудования и режущих инструментов для обработки неметаллических материалов // СТИН. 2013. № 2. С. 9–13.
7. *Пилюшина Г.А., Шевелева Е.В.* Исследование сцепления фрикционно-механических шиповых перемещающих устройств // Фундаментальные исследования и инновационные технологии в машиностроении: сб. науч. тр. V Междунар. науч. конф., Москва, 8–9 ноября 2017 г. М.: ИМАШ РАН, 2017. С. 211–214.
8. Characterization of Corrosion Products on Steel Surfaces / ed. By Yo. Waseda, Sh. Suzuki. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006. 297 p. DOI: 10.1007/978-3-540-35178-8

9. Darmawan W., Rahayu I.S., Tanaka C., Marchal R. Chemical and Mechanical Wearing of High Speed Steel and Tungsten Carbide Tools by Tropical Woods // Journal of Tropical Forest Science. 2006. Vol. 18, no. 4. Pp. 255–260.

10. Jellesen M.S. Tribocorrosion Properties of Metallic Materials and Effects of Metal Release: Ph.D. Thesis. Department of Manufacturing Engineering and Management, Technical University of Denmark (DTU), 2007. 74 p.

11. Mischler S. Triboelectrochemical Techniques and Interpretation Methods in Tribocorrosion: A Comparative Evaluation // Tribology International. 2008. Vol. 41, iss. 7. Pp. 573–583. DOI: 10.1016/j.triboint.2007.11.003

12. Pamfilov E.A., Lukashov S.V., Prozorov Ya.S. Mechanochemical Fracture of the Components of Wood-Cutting Equipment // Materials Science. 2014. Vol. 50, iss. 1. Pp. 148–155. DOI: 10.1007/s11003-014-9703-x

13. Pamfilov E.A., Pilushina G.A., Polosov V.I. Conditions of Maintenance of Stable Frictional Contact of Submitting Rollers Woodworking Machines // Proceedings of BALTRIB 2007 International Scientific Conference, Kaunas, November 21–23, 2007. Kaunas, 2007. Pp. 67–71.

14. Pilyushina G.A., Pyrikov P.G., Rukhlyadko A.S. Improving the Performance of Machining Tools for Nonmetallic Materials // Russian Engineering Research. 2013. Vol. 33, no. 9. Pp. 532–535. DOI: 10.3103/S1068798X13090128

15. Porankiewicz B., Sandak J., Tanaka Ch. Factors Influencing Steel Tool Wear When Milling Wood // Wood Science and Technology. 2005. Vol. 39, iss. 3. Pp. 225–234.

16. Silman G.I., Pamfilov E.A., Gryadunov S.S., Gruvman A.I. Effect of the Structure of Chromium-Vanadium White Irons on Their Wear Resistance // Metal Science and Heat Treatment. 2007. Vol. 49, no. 7–8. Pp. 405–408. DOI: 10.1007/s11041-007-0076-8

17. Wood R.J.K. Tribo-Corrosion of Coatings: A Review // Journal of Physics D: Applied Physics. 2007. Vol. 40, no. 18. Pp. 5502–5521. DOI: 10.1088/0022-3727/40/18/S10

Поступила 21.11.18

UDC 674.05:620.16

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.102

### Improving the Feeder's Working Capacity of Timber Processing Equipment

*E.A. Pamfilov<sup>1</sup>, Doctor of Engineering Sciences, Professor*

*G.A. Pilyushina<sup>1</sup>, Candidate of Engineering Sciences*

*E.V. Sheveleva<sup>2</sup>, Candidate of Engineering Sciences*

*Ya.S. Prozorov<sup>1</sup>, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor*

*P.G. Pyrikov<sup>1</sup>, Doctor of Engineering Sciences, Professor*

<sup>1</sup>Bryansk State Technical University, bul'var 50-letiya Oktyabrya, 7, Bryansk, 241035, Russian Federation; e-mail: epamfilov@yandex.ru, gal-pi2009@yandex.ru

<sup>2</sup>Bryansk State Engineering and Technological University, prosp. Stanke Dimitrova, 3, Bryansk, 241037, Russian Federation; e-mail: elshev78@yandex.ru

The working capacity of the logging and wood processing equipment feeding mechanisms is determined by the achievable coupling of the roller's working elements with the movable blanks. The coupling stability depends significantly on the geometry specified in the design and implemented in manufacturing and physicochemical properties of the materials of tenons that capture, hold and continuously move the blanks into the processing zone. During operation, the geometrical parameters of tenons are changing due to wearing out, which is a result of a complex set of mechanical, chemical, thermal and other influences that accompany friction and deformation interaction of working elements of feeders and movable wood. Worn down tenons do not provide reliable movement of a blank, due to its slippage, which



causes quality reduction of final products and leads to intensification of the cutting tool wearing out. At the same time the features of influence of tenon geometrical form on the mating forces of feeding rollers with movable blanks in conditions of development of the tribotechnical characteristics, which provide their working capacity, are not studied sufficiently for the practical use. Therefore, the research purpose is to clarify the conditions of friction-mechanical interaction of working elements of rollers with wood and to identify patterns of wearing out of tenon working surfaces, which allows theoretically substantiate their rational geometrical shape and requirements for the physicochemical characteristics of recommended materials. The acting load's principles realized in the zone of contact of the metal surfaces of tenons with wood at displacement of blanks are considered for these purposes. The process of the force interaction change of tenons with blanks is shown beginning with the moment of contact of a certain tenon until it leaves the coupling. Its analysis showed that already at the beginning of the contact the shock bending load begins to act on the top of a tenon. The load in case of peak values often leads to wearing out by crumbling sufficiently large microvolumes of the feeding tenons. The probability of development of such fracture pattern is the greatest with insufficient strength of the using material and presence of structural defects, especially unfavorably located microcracks, and the action of dangerous tensile residual stresses. These factors also significantly affect the corrosion-mechanical wearing out of the working surfaces of tenons and their resistance movement in wood. Thus, the main factor of effective transportation of a blank to the processing zone and achievement of high wearing resistance of feeding rollers is optimization the tenon geometry, properties of the assigned materials and technology of strengthening treatment of the concerned details.

**For citation:** Pamfilov E.A., Pilyushina G.A., Sheveleva E.V., Prozorov Ya.S., Pyrikov P.G. Improving the Feeder's Working Capacity of Timber Processing Equipment. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2019, no. 2, pp. 102–110. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.102

**Keywords:** frictional and mechanical contact, feeding rollers, working capacity, friction, coupling, wearing out, geometrical shape, tribological parameters, load.

#### REFERENCES

1. Bershadskiy L.I. *Fundamentals of Structural Adaptability Theory and Transition States of Tribosystems and Its Practical Application to Solving the Problem of Improving Reliability of Toothed and Worm Gears*: Dr. Eng. Sci. Diss. Kiev, 1982. 394 p.
2. Gorokhovskiy K. F., Livshits N.V. *Vehicles and Equipment Logging and Timber Storage Works*: Educational Textbook. Moscow, Ekologiya Publ., 1991. 528 p.
3. Pamfilov E.A., Pilyushina G.A. Possibilities and Prospective Ways to Increase Working Capacity of Forest Sector Machines and Equipment. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2013, no. 5, pp. 129–141.
4. Pilyushina G.A. *Working Capacity Improvement of Feeder's Details of the Sawmill Equipment*: Cand. Eng. Sci. Diss. Bryansk, 2004. 140 p.
5. Pilyushina G.A., Pamfilov E.A. Enhancing Operational Capacity of Sawmill Equipment. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2007, no. 4, pp. 85–91.
6. Pilyushina G.A., Pyrikov P.G., Ruhletka A.S. Working Capacity Improvement of Working Bodies of Equipment and Cutting Tools for Processing of Non-Metallic Materials. *STIN*, 2013, no. 2, pp. 9–13.
7. Pilyushina G.A., Sheveleva E.V. Study of the Friction Clutch-Mechanical Finger Moving Unit. *Fundamental Research and Innovative Technologies in Mechanical Engineering: Collection of Academic Papers of the 5<sup>th</sup> Int. Sci. Conf., Moscow, November 8–9, 2017*. Moscow, IMASH RAN Publ., 2017, pp. 211–214.

8. *Characterization of Corrosion Products on Steel Surfaces*. Ed. By Yo. Waseda, Sh. Suzuki. Berlin, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006. 297 p. DOI: 10.1007/978-3-540-35178-8
9. Darmawan W., Rahayu I.S., Tanaka C., Marchal R. Chemical and Mechanical Wearing of High Speed Steel and Tungsten Carbide Tools by Tropical Woods. *Journal of Tropical Forest Science*, 2006, vol. 18, no. 4, pp. 255–260.
10. Jellesen M.S. *Tribocorrosion Properties of Metallic Materials and Effects of Metal Release*. Ph.D. Thesis. Department of Manufacturing Engineering and Management, Technical University of Denmark (DTU), 2007. 74 p.
11. Mischler S. Triboelectrochemical Techniques and Interpretation Methods in Tribocorrosion: A Comparative Evaluation. *Tribology International*, 2008, vol. 41, iss. 7, pp. 573–583. DOI: 10.1016/j.triboint.2007.11.003
12. Pamfilov E.A., Lukashov S.V., Prozorov Ya.S. Mechanochemical Fracture of the Components of Wood-Cutting Equipment. *Materials Science*, 2014, vol. 50, iss. 1, pp. 148–155. DOI: 10.1007/s11003-014-9703-x
13. Pamfilov E.A., Pilushina G.A., Polosov V.I. Conditions of Maintenance of Stable Frictional Contact of Submitting Rollers Woodworking Machines. *Proceedings of BALTRIB 2007 International Scientific Conference, Kaunas, November 21–23, 2007*. Kaunas, 2007, pp. 67–71.
14. Pilyushina G.A., Pyrikov P.G., Rukhlyadko A.S. Improving the Performance of Machining Tools for Nonmetallic Materials. *Russian Engineering Research*, 2013, vol. 33, no. 9, pp. 532–535. DOI: 10.3103/S1068798X13090128
15. Porankiewicz B., Sandak J., Tanaka Ch. Factors Influencing Steel Tool Wear When Milling Wood. *Wood Science and Technology*, 2005, vol. 39, iss. 3, pp. 225–234.
16. Silman G.I., Pamfilov E.A., Gryadunov S.S., Gruvman A.I. Effect of the Structure of Chromium-Vanadium White Irons on Their Wear Resistance. *Metal Science and Heat Treatment*, 2007, vol. 49, no. 7–8, pp. 405–408. DOI: 10.1007/s11041-007-0076-8
17. Wood R.J.K. Tribo-Corrosion of Coatings: A Review. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 2007, vol. 40, no. 18, pp. 5502–5521. DOI: 10.1088/0022-3727/40/18/S10

Received on November 21, 2018

---

УДК 674.8

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.111

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ДРЕВЕСНОЙ КОРЫ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В КАЧЕСТВЕ ЗАСЫПНОЙ ТЕПЛОЗВУКОИЗОЛЯЦИИ

*В.Е. Данилов, аспирант, ст. преподаватель*

*А.М. Айзенштадт, д-р хим. наук, проф.*

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: v.danilov@narfu.ru, a.isenshtadt@narfu.ru

Цель данной работы – изучение теплофизических и акустических характеристик модифицированной коры сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) для использования в качестве засыпного теплозвукоизоляционного материала. Модификацию коры осуществляли путем механоактивации растительного сырья на планетарной шаровой мельнице, его сушки и последующей обработки водной суспензией, содержащей тонкодисперсные частицы базальта со среднечисленным размером 150 нм. Образцы подвергали гомогенизации и вторичной сушке. Установлено, что для использования в качестве засыпной изоляции оптимальной является фракция коры размером 0,5...1,0 мм. При обработке этой фракции коры суспензией базальта получен материал со следующими характеристиками: насыпная плотность – 313 кг/м<sup>3</sup>; коэффициент теплопроводности – 0,0651 Вт/(м·К); индекс изоляции воздушного шума – 28,5 дБ. Значения данных параметров сопоставимы с подобными характеристиками широко распространенных изоляционных материалов. Установлено, что при модификации коры происходит значительное увеличение удельной поверхности материала, при этом объем открытого порового пространства уменьшается на 15,5 %. Следовательно, модифицированную древесную кору сосны можно рекомендовать для использования в качестве засыпной теплозвукоизоляции в нежилых промышленных и сельскохозяйственных помещениях.

**Финансирование:** Исследования выполнены при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-43-292002.

**Для цитирования:** Данилов В.Е., Айзенштадт А.М. Использование модифицированной древесной коры сосны обыкновенной в качестве засыпной теплозвукоизоляции // Лесн. журн. 2019. № 2. С. 111–118. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.111

**Ключевые слова:** утилизация кородревесных отходов, механоактивация, модификация растительного сырья, тонкодисперсный базальт, теплопроводность, теплоемкость, индекс изоляции воздушного шума.

### Введение

Последние десять лет характеризовались модернизацией и техническим перевооружением большинства крупных лесоперерабатывающих предприятий на территории России в целях более глубокой переработки древесины и сокращения количества накапливающихся кородревесных отходов [9, 11]. Несмотря на многообразие перспективных способов утилизации данных отходов [1, 2, 4, 12–16] их главным образом сжигают в котлах теплоэлектростанций, используя дорогое импортное оборудование для выработки электро- и тепловой энергии на собственные нужды предприятий, либо после этапа механообработки из них получают топливные гранулы (пеллеты) [7, 10].

Причинами такого комплексного использования лесных продуктов стали: выросшая цена на древесину, поправки в лесном законодательстве и регулирование выбросов в атмосферу [5, 6]. Однако мелкие и средние лесоперерабатывающие предприятия по-прежнему неэффективно сжигают кору, складывают ее в отвалах на территории предприятий или вывозят на свалку [3, 8].

Решением данной проблемы может стать проведение «армирования» минеральными компонентами кородревесных отходов с последующим их использованием в качестве засыпной теплоизоляции в нежилых промышленных и сельскохозяйственных помещениях. За счет увеличения удельной поверхности и частичного заполнения порового пространства древесной коры агломератами, образованными из частиц базальта, улучшаются пожарнотехнические, акустические и теплотехнические характеристики композитов на ее основе, а ее водопоглощение и гигроскопичность снижаются. Однако относительно использования модифицированной коры в качестве засыпной теплоизоляции подобных исследований не проводилось.

Цель данной работы – изучение теплофизических и акустических характеристик модифицированной древесной коры сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) для использования в качестве засыпного теплозвукоизоляционного материала.

#### *Объекты и методы исследования*

В качестве исследуемого материала выбрана кора сосны, отобранная из отвалов производственного участка 2 лесозавода № 25 (г. Архангельск, мкр. Цигломень).

Кора была предварительно высушена до постоянной массы, измельчена на планетарной шаровой мельнице Retsch PM100 и просеяна через набор сит. Для дальнейшего исследования использованы фракции коры размером 10...20; 5...10; 2...5; 1...2; 0,5...1,0; 0,25...0,50 мм. Перед испытанием данные фракции были дополнительно высушены в сушильном шкафу Binder FD53 при температуре 60 °С до среднего содержания влаги 8 %. Контроль влажности образцов осуществляли на анализаторе влажности MS-70.

Для приготовления модифицирующей минеральной суспензии выбран отсев базальта месторождения Мяндуха (Архангельская область). Базальт диспергирован на планетарной шаровой мельнице Retsch PM100 до среднего размера частиц порядка 150 нм. Размеры минеральных частиц определяли на анализаторе Delsa Nano методом измерения динамического светорассеяния.

Модификацию коры минеральным компонентом осуществляли следующим образом: частицы коры и наночастицы базальта смешивали в сухом виде, затем к ним добавляли воду. В результате поглощения воды кора разбухла, объем ее поровой структуры увеличивался, самопроизвольно заполняясь суспензией базальта. После насыщения поровой структуры суспензией базальта древесную кору сушили до постоянной влажности в сушильном шкафу Binder FD53 при температуре 105 °С. В результате высокотемпературной сушки происходило резкое уменьшение объема поровой структуры коры, что способствовало закреплению наночастиц базальта в поровой поверхности и на поверхности материала.

Коэффициент теплопроводности фракций коры сосны определяли на приборе МИТ-1 зондовым методом (ГОСТ 30256–94); индекс изоляции воздушного шума фракций коры (слой толщиной 10 см) – с использованием устройства для измерения времени реверберации и коэффициента звукопоглощения строительных и отделочных материалов (Пат. РФ № 162316) по СП 23-103–2003 «Проектирование звукоизоляции ограждений конструкций жилых и общественных зданий»; истинную плотность коры – пикнометрическим методом. Образцы модифицированной коры исследовали с помощью сканирующего электронного микроскопа SIGMA VP («Carl Zeiss»); удельную поверхность и пористость коры определяли на анализаторе Autosorb iQ методом сорбции азота.

### *Результаты исследования и их обсуждение*

Функциональные характеристики (насыпная плотность, коэффициент теплопроводности, индекс изоляции) коры сосны разных фракций в насыпном состоянии приведены в табл. 1.

Таблица 1

#### **Функциональные характеристики насыпной коры сосны**

Фракция коры, мм	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	Индекс изоляции воздушного шума, дБ
10...20	223,4	0,0474	15,0
5...10	238,1	0,0536	17,8
2...5	246,5	0,0546	18,6
1...2	254,2	0,0560	19,9
0,5...1,0	185,3	0,0547	24,6
0,25...0,50	192,6	0,0581	25,8

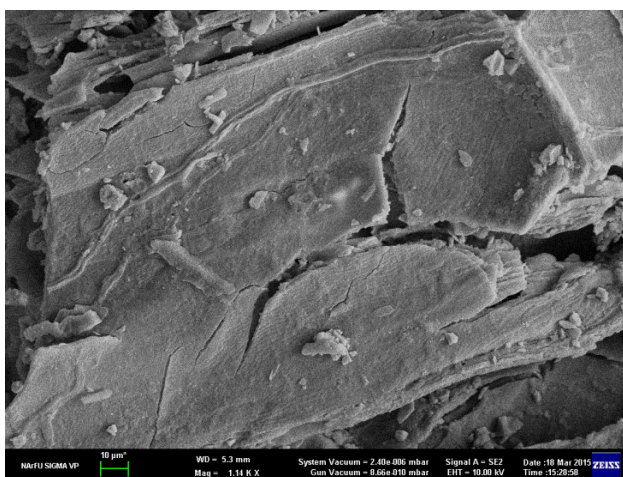
Данные табл. 1 показывают, что кора в насыпном состоянии независимо от размера фракции имеет низкий коэффициент теплопроводности и относительно высокий индекс изоляции воздушного шума, однако по совокупности показателей наилучшие результаты у фракции 0,5...1,0 мм. Наименьшее значение насыпной плотности таких частиц может объясняться разнонаправленностью (хаотичностью) расположения преобладающих в данной фракции чешуек коры вытянутой формы, которые образуют объемную изотропную структуру. Дальнейшее уменьшение размера фракции коры приводит к уплотнению упаковки за счет сокращения количества частиц продолговатой формы и разрушения поровой структуры отдельных чешуек. Данные факты вызывают резкое увеличение теплопроводности и практически не влияют на величину индекса изоляции воздушного шума. Поэтому для дальнейшего исследования была выбрана фракция коры 0,5...1,0 мм.

Истинная плотность древесной коры до и после ее модификации составляла соответственно 1150 и 1370 кг/м<sup>3</sup>. Полученные результаты (увеличение истинной плотности на 19 %) свидетельствуют о высокой эффективности пропитки коры минеральной суспензией на основе высокодисперсного базальта. Для визуальной оценки эффективности процесса модификации были сделаны фотографии коры сосны до и после обработки (рис. 1).

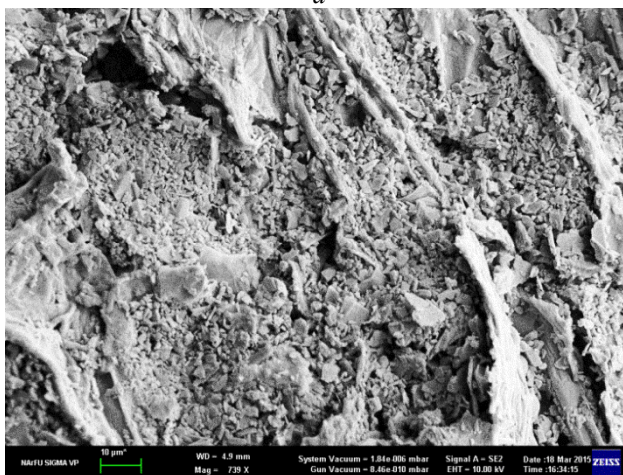


Рис. 1. Кора сосны обыкновенной: *a* – до модификации; *б* – после модификации  
Fig. 1. Scots pine bark: *a* – before modification; *б* – after modification

Дополнительно были сняты электронные фотографии поверхности исходных (до модификации) и опытных (после модификации) образцов (рис. 2).



*a*



*б*

Рис. 2. Поверхность частицы коры сосны обыкновенной: *a* – до модификации; *б* – после модификации

Fig. 2. Particle surface of Scots pine bark:  
*a* – before modification; *б* – after modification

Анализ рис. 1 и 2 показал, что частицы коры после модификации имеют сероватый оттенок, связанный с наличием базальтового покрытия на их поверхности. Размер частиц базальта в образцах – от 100 нм до 15 мкм (крупные агломераты). Распределение минерального модификатора на поверхности и в объемной фазе коры неравномерное, преобладающее количество базальта находится в дефектах структуры материала, которые вызваны механоактивацией сырья.

Результаты определения функциональных характеристик модифицированной коры сосны (фракция размером 0,5...1,0 мм) в насыпном состоянии: плотность  $\rho_{\text{нас}} = 313 \text{ кг/м}^3$ ; коэффициент теплопроводности  $\lambda = 0,0651 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ; индекс изоляции воздушного шума  $R_w = 28,5 \text{ дБ}$ . Увеличение  $\rho_{\text{нас}}$  и  $\lambda$  модифицированной коры по сравнению с исходной, на наш взгляд, связано с уменьшением порового пространства за счет его заполнения агломератами базальта, повышение  $R_w$  – с ростом удельной поверхности и, как следствие, с ростом способности поглощать звуковые колебания. Для подтверждения данной гипотезы были определены удельная поверхность и пористость (общий объем пор) древесной коры до и после ее модификации (табл. 2).

Таблица 2

**Сопоставление удельной поверхности и пористости (общего объема пор) коры сосны до и после модификации**

Кора	Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /кг	Пористость, см <sup>3</sup> /г
До модификации	18 887	0,110
После модификации	70 311	0,093

Полученные в ходе эксперимента результаты (удельная поверхность увеличилась в 3,7 раза, пористость уменьшилась на 15,5 %) указывают на наличие корреляции между функциональными и структурными параметрами модифицированной коры. При этом следует ожидать, что заполнение порового пространства древесной коры частицами базальта, приводящее к увеличению содержания закрытых пор и уменьшению открытых, существенно снизит ее гигроскопичность и водопоглощение и, как следствие, приведет к стабилизации теплотехнических характеристик даже в условиях повышенной влажности окружающей среды.

*Заключение*

1. Установлено, что для применения отходов окорки сосны в качестве насыпной изоляции оптимальной является фракция коры размером 0,5...1,0 мм.

2. Обработка коры данной фракции суспензией базальта позволяет получить материал со следующими функциональными характеристиками:  $\rho_{\text{нас}} = 313 \text{ кг/м}^3$ ;  $\lambda = 0,0651 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ;  $R_w = 28,5 \text{ дБ}$ , которые сопоставимы со значениями для распространенных изоляционных материалов.

3. Модифицированную древесную кору можно рекомендовать для использования в качестве насыпной теплоизоляции в нежилых промышленных и сельскохозяйственных помещениях.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гаврилов Т.А., Колесников Г.Н.* Анализ направлений переработки отходов окорки // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3, № 9-2(20-2). С. 115–118. DOI: 10.12737/16445
2. *Данилов В.Е., Айзенштадт А.М., Махова Т.А.* Конструкционная теплоизоляция на основе отходов деревообрабатывающей и горной промышленности // Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 1. С. 97–100.
3. *Девятловская А.Н., Журавлёва Л.Н., Девятловский Н.В.* Утилизация древесной коры деревоперерабатывающих предприятий // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2010. № 27. С. 51–54.
4. *Кузнецов Б.Н., Чесноков Н.В., Иванов И.П., Веприкова Е.В., Иванченко Н.М.* Методы получения пористых материалов из лигнина и древесной коры (обзор) // Журн. Сиб. федер. ун-та. Химия. 2015. Т. 2, № 8. С. 232–255. DOI: 10.17516/1998-2836-2015-8-2-232-255
5. Лесной кодекс Российской Федерации: федер. закон от 04.12.2006 № 200-ФЗ (ред. от 01.07.2017). Доступ из справ.-правовой системы «Косультант Плюс».
6. *Мелехов В.И., Тюрикова Т.В., Пономарева Н.Г.* Энергетический потенциал древесной коры в программе ресурсосбережения // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3, № 9-3(20-3). С. 106–110. DOI: 10.12737/16877
7. *Мюллер О.Д., Мелехов В.И., Пономарева Н.Г., Тюрикова Т.В., Хрусталева М.О.* Математическая модель процесса прессования термомодифицированной древесной коры в пресс-грануляторах барабанного типа // Лесн. журн. 2017. № 2. С. 130–148. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.2.130
8. *Патякин В.И., Костин И.В., Ильюшенко Д.А.* Некоторые проблемы использования древесной коры в промышленности // Системы. Методы. Технологии. 2011. № (4)12. С. 121–124.
9. *Петухов Р.А.* Инвестиционный потенциал лесного комплекса Республики Карелия // Образование и наука в современных условиях. 2015. № 3. С. 314–315.
10. *Судакова И.Г., Иванченко Н.М., Кузнецов Б.Н.* Получение древесных топливных брикетов с использованием связующих из суберина березовой коры // Химия растительного сырья. 2008. № 2. С. 31–34.
11. *Яковлева К.А.* Использование лесных ресурсов в приграничных регионах: анализ социально-экономической эффективности // Вестн. Забайк. гос. ун-та. 2015. № 6(121). С. 156–165.
12. *Danilov V.E., Ayzenshtadt A.M., Makhova T.A., Frolova M.A.* Determination of Size Properties of the Organomineral Insulation Nanofiller Based on the Wood Matrix // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017. Vol. 177, 012063. 5 p. DOI: 10.1088/1757-899X/177/1/012063
13. *Kain G., Charwat-Pessler J., Barbu M.-C., Plank B., Richter K., Petutschnigg A.* Analyzing Wood Bark Insulation Board Structure Using X-ray Computed Tomography and Modeling Its Thermal Conductivity by Means of Finite Difference Method // Journal of Composite Materials. 2016. Vol. 50, iss. 6. Pp. 795–806. DOI: 10.1177/0021998315581511
14. *Kain G., Güttler V., Barbu M.-C., Petutschnigg A., Richter K., Tondi G.* Density Related Properties of Bark Insulation Boards Bonded with Tannin Hexamine Resin // European Journal of Wood and Wood Products. 2014. Vol. 72, iss. 4. Pp. 417–424. DOI: 10.1007/s00107-014-0798-4
15. *Kain G., Güttler V., Lienbacher B., Barbu M.-C., Petutschnigg A., Richter K., Tondi G.* Effects of Different Flavonoid Extracts in Optimizing Tannin-Glued Bark Insulation Boards // Wood and Fiber Science. 2015. Vol. 47, no. 3. Pp. 258–269.
16. *Pásztory Z., Mohácsiné I.R., Gorbacheva G.A., Börcsök Z.* The Utilization of Tree Bark // BioResources. 2016. Vol. 11, iss. 3. Pp. 7859–7888.

Поступила 22.12.17



UDC 674.8

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.111

**The Use of Modified Scots Pine Bark as Filling Material of Heat and Sound Insulation***V.E. Danilov, Postgraduate Student, Senior Lecturer**A.M. Ayzenshtadt, Doctor of Chemical Sciences, Professor*

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: v.danilov@narfu.ru, a.isenshtadt@narfu.ru

The purpose of this work is studying the thermophysical and acoustic properties of modified Scots pine bark (*Pinus sylvestris* L.) for the use as heat and sound insulation filling material. Bark modification was carried out by mechanical activation of plant material with the use of a planetary ball mill, then drying of the plant material and its treatment with water suspension containing fine-dispersed basalt particles of 150 nm average size. Samples were homogenized and dried again. It has been found that the bark fraction of 0.5–1 mm is optimal as filling insulation. Treatment with basalt suspension of such bark makes it possible to obtain material with the following characteristics: bulk density  $\rho_{\text{bulk}} = 313 \text{ kg/m}^3$ ; coefficient of heat conductivity  $\lambda = 0.0651 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ ; airborne sound insulation index  $R_w = 28.5 \text{ dB}$ . The values of these parameters are comparable with the similar characteristics of the widely used insulation materials. In addition, it was determined that significant increase of the specific surface area of the material occurs during bark modification at the same time the volume of open pore space is reducing by 15.5 %. Thus, the modified pine bark can be recommended for the use as filling insulation in non-residential industrial and agricultural premises.

**Funding:** The studies were carried out with the financial support of the RFBR grant no. 18-43-292002.

**For citation:** Danilov V.E., Ayzenshtadt A.M. The Use of Modified Scots Pine Bark as Filling Material of Heat and Sound Insulation. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2019, no. 2, pp. 111–118. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.111

**Keywords:** bark and wood waste disposal, mechanical activation, modification of plant raw materials, fine-dispersed basalt, heat conductivity, heat capacity, airborne sound insulation index.

## REFERENCES

1. Gavrillov T.A., Kolesnikov G.N. Analysis of Debarking Waste Recycling Trends. *Aktual'nyye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Actual Directions of Scientific Research of the XXI Century: Theory and Practice], 2015, vol. 3, iss. 9-2, part 2, pp. 115–118. DOI: 10.12737/16445
2. Danilov V.E., Ayzenshtadt A.M., Makhova T.A. Structural Heat Insulation on the Basis of Wood-Processing and Mining Waste. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo* [Industrial and Civil Engineering], 2017, no. 1, pp. 97–100.
3. Devyatlovskaya A.N., Zhuravleva L.N., Devyatlovskiy N.V. Wood Bark Utilization of Wood Processing Enterprises. *Aktual'nyye problemy lesnogo kompleksa* [Actual Problems of the Forest Complex], 2010, no. 27, pp. 51–54.
4. Kuznetsov B.N., Chesnokov N.V., Ivanov I.P., Veprikova E.V., Ivanchenko N.M. Methods of Porous Materials Obtaining from Lignin and Wood Bark. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Khimiya* [Journal of Siberian Federal University. Chemistry], 2015, vol. 2, no. 8, pp. 232–255. DOI: 10.17516/1998-2836-2015-8-2-232-255
5. *Forestry Code of the Russian Federation: Federal Law of 04.12.2006 no. 200-FZ* (eds. 01.07.2017). Access from the “Consultant Plus” Reference Legal System.

6. Melekhov V.I., Tyurikova T.V., Ponomareva N.G. The Energy Potential of the Wood Bark in the Program of Resource-Saving. *Aktual'nyye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Actual Directions of Scientific Research of the XXI Century: Theory and Practice], 2015, vol. 3, iss. 9, part 3, pp. 106–110. DOI: 10.12737/16877
7. Myuller O.D., Melekhov V.I., Ponomareva N.G., Tyurikova T.V., Khrustaleva M.O. Mathematical Model of the Pressing Process of Thermally-Modified Tree Bark in the Drum-Type Press-Granulators. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2017, no. 2, pp. 130–148. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.2.130
8. Patyakin V.I., Kostin I.V., Iliyushenko D.A. Some Issues of Debark Wastes Industrial Utilization. *Sistemy. Metody. Tekhnologii* [Systems. Methods. Technologies], 2011, no. 4(12), pp. 121–124.
9. Petukhov R.A. Forest Complex Investment Potential of the Republic of Karelia. *Obrazovaniye i nauka v sovremennykh usloviyakh* [Education and Science in the Current Context], 2015, no. 3, pp. 314–315.
10. Sudakova I.G., Ivanchenko N.M., Kuznetsov B.N. Production of Wood Briquettes Using Binders Obtained from Birch Bark Suberin. *Khimija Rastitel'nogo Syr'ya* [Chemistry of Plant Raw Material], 2008, no. 2, pp. 31–34.
11. Yakovleva K.A. The Use of Forest Resources in Border Regions: Analysis of Social and Economic Efficiency. *Vestnik Zabaykal'skogo gosudarstvennogo universiteta* [Transbaikal State University Journal], 2015, no. 6(121), pp. 156–165.
12. Danilov V.E., Ayzenshtadt A.M., Makhova T.A., Frolova M.A. Determination of Size Properties of the Organomineral Insulation Nanofiller Based on the Wood Matrix. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2017, vol. 177, 012063. 5 p. DOI: 10.1088/1757-899X/177/1/012063
13. Kain G., Charwat-Pessler J., Barbu M.-C., Plank B., Richter K., Petutschnigg A. Analyzing Wood Bark Insulation Board Structure Using X-ray Computed Tomography and Modeling Its Thermal Conductivity by Means of Finite Difference Method. *Journal of Composite Materials*, 2016, vol. 50, iss. 6, pp. 795–806. DOI: 10.1177/0021998315581511
14. Kain G., Güttler V., Barbu M.-C., Petutschnigg A., Richter K., Tondi G. Density Related Properties of Bark Insulation Boards Bonded with Tannin Hexamine Resin. *European Journal of Wood and Wood Products*, 2014, vol. 72, iss. 4, pp. 417–424. DOI: 10.1007/s00107-014-0798-4
15. Kain G., Güttler V., Lienbacher B., Barbu M.-C., Petutschnigg A., Richter K., Tondi G. Effects of Different Flavonoid Extracts in Optimizing Tannin-Glued Bark Insulation Boards. *Wood and Fiber Science*, 2015, vol. 47, no. 3, pp. 258–269.
16. Pásztor Z., Mohácsiné I.R., Gorbacheva G.A., Böröcsök Z. The Utilization of Tree Bark. *BioResources*, 2016, vol. 11, iss. 3, pp. 7859–7888.

Received on December 22, 2017



## ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 676.16.022.6.031

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.119

**ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ  
ФОРМОВАННЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ ВОЛОКОН***А.В. Поташев<sup>1</sup>, инж.**А.В. Гурьев<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доц.**И.Б. Филиппов<sup>2</sup>, канд. техн. наук, гл. технолог – зам. директора по производству**В.Г. Мосеев<sup>2</sup>, начальник производства целлюлозы*<sup>1</sup>Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: a.potashov@narfu.ru, a.guriev@narfu.ru<sup>2</sup>АО «Архангельский целлюлозно-бумажный комбинат», ул. Мельникова, д. 1, г. Новодвинск, Архангельская область, Россия, 164900; e-mail: filippov.ilya@arpm.ru, moseev.vadim@arpm.ru

Формованные изделия из растительных волокон (в соответствии с международной терминологией – molded pulp), являющиеся ресурсосберегающими и экологичными, в настоящее время все чаще используются в качестве альтернативной первичной упаковки и вспомогательных упаковочных средств взамен полимерных материалов. Сырьем для их изготовления служат волокна макулатуры, а также целлюлозные волокна, выделенные из древесины и однолетних растений. В качестве еще одного источника сырья для формованных изделий нами рассматриваются волокна из отходов грубого сортирования («сучковая масса»), образующиеся при производстве сульфатной лиственной или хвойной целлюлозы. Их количество может достигать до 0,5...1,0 % от брутто-массы целлюлозы после варки. Подобные отходы могут утилизироваться в многотопливных котлах с получением тепла и электроэнергии, повторно направляться на варку целлюлозы, подвергаться рафинированию с возвращением в основной производственный поток, а также использоваться в композиции технических и тароупаковочных картонов. Однако преимущественно они складываются на полигонах промышленных отходов предприятия. Одной из простых и востребованных разновидностей формованных изделий из волокон сучковой массы считаются ячейки для выращивания и посадки саженцев лесных культур с закрытой корневой системой. К таким ячейкам не предъявляются особые требования по качеству формования. Однако для успешного применения в практике лесовосстановления необходимы изучение и контроль комплекса их прочностных и деформационных свойств. Исследованы модельные лабораторные образцы формованных ячеек из волокон отходов грубого сортирования, подвергнутых рафинированию до степени помола от 16 до 20 °ШР. Определены основные физико-механические характеристики материала изделий массой 1 м<sup>2</sup> 400 г при растяжении, сжатии и изгибе, а также характеристики при сжатии самих формованных изделий. Установлена линейная зависимость между деформационно-прочностными показателями формованных изделий и аналогичными показателями материала их стенок.

**Финансирование:** При выполнении исследований использовано оборудование Инновационно-технологического центра «Современные технологии переработки биоресурсов Севера» (Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова), созданного при финансовой поддержке Минобрнауки России.

*Для цитирования:* Поташев А.В., Гурьев А.В., Филиппов И.Б., Мосеев В.Г. Особенности деформирования структуры формованных изделий из целлюлозных волокон // Лесн. журн. 2019. № 2. С. 119–129. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.119

*Ключевые слова:* бумажное литье, волокно, целлюлоза, отходы грубого сортирования, растяжение, сжатие, изгиб.

### *Введение*

Формованная из целлюлозных волокон продукция представляет собой изделия сложной геометрической формы, повторяющие контур упаковываемой продукции. Поэтому прочность их будет зависеть не только от физико-механических характеристик используемого сырья, но и от геометрических размеров основных структурных единиц формованного изделия и их базовых параметров, изученных в работах [6, 8].

Основными структурными и конструктивными параметрами формованных изделий из растительных волокон являются толщина стенки, угол наклона боковой стенки, высота изделия, радиус пересекающихся стенок.

Большая часть известных исследований физико-механических свойств формованных изделий сосредоточена, главным образом, на анализе экспериментальных кривых, полученных при одноосном статическом сжатии, и сравнении с подобными упаковочными материалами [4, 7].

Перспективным направлением исследований в данной области является прогнозирование особенностей деформирования и прочностных показателей готовых изделий на основе компьютерного моделирования [5, 9]. Однако следует отметить, что для успешного применения данного подхода необходимо накопление глобальных баз данных и дальнейшее изучение прочностных и деформационных свойств структур формованных изделий, полученных из различного сырья.

### *Объекты и методы исследования*

В экспериментах для изготовления формованных изделий на основе разработанного авторами способа [2] в качестве сырья использованы отходы грубого сортирования сульфатной небеленой целлюлозы (СНЦ) как из лиственных, так и хвойных пород древесины. Исходные образцы сучковой массы представляют собой частично делигнифицированную древесину (сучки, непровар), не разделившуюся после варки целлюлозы на отдельные волокна, поэтому их технологические свойства могут быть оценены только после гидромеханической обработки.

Производственную сучковую массу подвергали разволокнению в лабораторном центробежном размалывающем аппарате при концентрации 6 %. Разработку волокон отходов проводили до степени помола 16, 18 и 20 °ШР. Далее из полученной волокнистой суспензии (концентрация 1 %) изготавливали образцы формованных изделий, имеющих форму усеченной пирамиды (рис. 1) с расчетной массой 12,5 г. При этом масса 1 м<sup>2</sup> стенки изделия составляла 400 г.

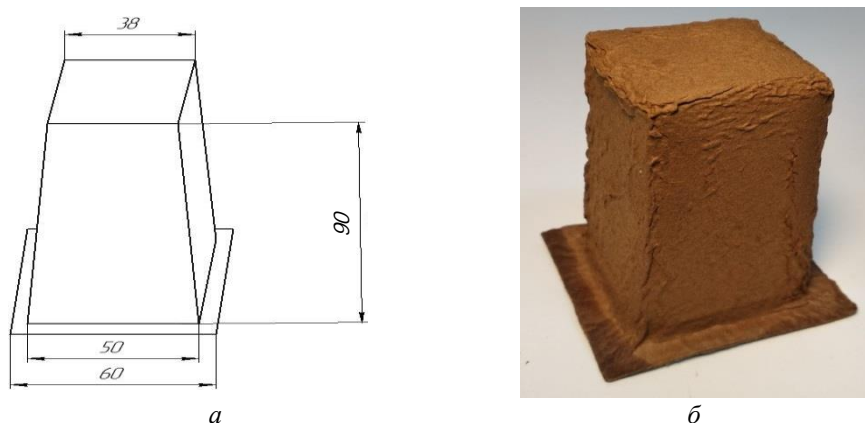


Рис. 1. Геометрические размеры (а) и внешний вид (б) лабораторных образцов формованных изделий (размеры приведены в миллиметрах)

Fig. 1. Physical dimensions (a) and appearance (b) of laboratory molded product samples (dimensions are in centimeters)

Для оценки физико-механических и деформационных свойств волокнистых материалов использовали стандартные методы испытаний, принятые для целлюлозно-бумажных материалов. Образцы для определения деформативности и прочности структуры собственно изделия вырезали из боковых стенок лабораторных образцов.

Толщину образцов определяли микрометром Lorentzen & Wettre SE 250 (ГОСТ 27015–86), жесткость при изгибе ( $S_b$ ) – на приборе Messmer Buchel 116-BD (ГОСТ 30435–96 (ИСО 5628–90)), сопротивление торцевому сжатию ( $ECT$ ) – на лабораторном прессе FRANK-PTI (ГОСТ 20683–97 (ИСО 3037–94)), растяжение – на лабораторной разрывной машине «Тестсистема 101» (ГОСТ 13525.1–79), сопротивление сжатию – на машине универсальной ИТС 8111-0,2 (ГОСТ 18211–72 (ИСО 12048–94)). Испытания на растяжение материала стенки и сжатие самого изделия проводили с дальнейшим получением и обработкой кривой зависимости «напряжение ( $\sigma_p$ )–деформация ( $\epsilon_p$ )» и установлением значений следующих основных характеристик: нагрузка разрушения ( $F$ ), жесткость при растяжении ( $S_t$ ), энергия, поглощаемая при разрушении образца ( $TEA$ ), разрушающее напряжение ( $\sigma_p$ ), деформация разрушения ( $\epsilon_p$ ), модуль упругости ( $E_t$ ).

Обработку и анализ полученных результатов выполняли с применением стандартных статистических процедур.

#### *Результаты исследования и их обсуждение*

В связи с тем, что при степени помола 14 °ШР в массе присутствует большое количество костры и не разделившихся волокон, препятствующих формированию равномерной структуры изделий, в экспериментах был принят диапазон степени разработки волокон сучковой массы от 16 до 20 °ШР.

Значения характеристик при растяжении, сжатии и изгибе образцов материала формованных изделий из отходов сортирования лиственной и хвойной СЩ в зависимости от степени помола волокон представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Характеристики прочности и деформативности при растяжении, сжатии и изгибе материала стенок формованных изделий из отходов сортирования СНГ**

Степень помола, °ШР	Продолжительность размола, мин	$F$ , Н	$E_t$ , МПа	$S_t$ , кН/м	$\sigma_p$ , МПа	$\epsilon_p$ , %	$TEA$ , МПа	$ECT$ , кН/м	$S_b$ , Н/см <sup>2</sup>
<i>Лиственная СНГ</i>									
16	8	75	300	470	2,80	1,27	34,3	0,90	6,2
18	10	85	325	525	3,54	1,74	60,1	1,08	6,8
20	12	130	530	700	6,51	1,81	91,9	1,38	7,3
<i>Хвойная СНГ</i>									
16	10	70	180	410	2,14	2,00	59,3	0,90	5,9
18	14	80	245	475	2,78	1,94	64,0	1,18	6,4
20	18	110	260	520	3,74	2,24	100,2	1,26	7,6

Для достижения максимальных показателей прочности в случае использования отходов сортирования лиственной целлюлозы требуется в 1,5 раза меньшая продолжительность размола до заданной степени разработки волокон по сравнению с образцами из отходов сортирования хвойной целлюлозы. Установлено, что такие характеристики прочности и жесткости при растяжении, как  $F$ ,  $E_t$ ,  $S_t$ ,  $\sigma_p$ , имеют более высокие значения у образцов из лиственных волокон. Это обусловлено значительным уплотнением структуры изделий (плотность возрастает на 20 %), приводящим к резкому увеличению прочности.

Для образцов из отходов сортирования хвойной целлюлозы наблюдается иная динамика изменения свойств. Их плотность практически не меняется при увеличении степени помола в заданном диапазоне, что обуславливает более низкий уровень характеристик прочности, упругости и жесткости при растяжении.

Подобное различие объясняется особенностями структурно-размерных параметров образцов и нетрадиционной формой распределения размерных характеристик волокон, что было показано в предыдущих исследованиях [3]. В частности, средняя длина волокна в выбранном диапазоне степени помола в случае использования отходов лиственной целлюлозы составляет 0,81...0,78 мм, а для отходов хвойной целлюлозы – 1,20...1,12 мм, что существенно ниже, чем у товарных видов целлюлозы: у лиственной этот показатель обычно варьирует от 1,0 до 1,2 мм, у хвойной – от 2,0 до 2,4 мм.

Результаты испытаний лабораторных формованных изделий на одноосное статическое сжатие с постоянной скоростью представлены в табл. 2.

Сопротивление сжатию образцов формованных изделий в отличие от характеристик сопротивления растяжению зависит от плотности и толщины материала. При этом четкая зависимость от структурно-размерных характеристик волокон не прослеживается. Максимальными прочностными характеристиками обладают образцы из отходов сортирования лиственной СНГ.

Таблица 2

**Характеристики прочности и деформативности при сжатии  
лабораторных образцов формованных изделий из отходов сортирования СНГ**

Степень помола, °ЩР	Продолжительность размола, мин	$F$ , Н	$E_t$ , МПа	$\sigma_p$ , МПа	$\epsilon_p$ , %	$TEA$ , МПа
<i>Лиственная СНГ</i>						
16	8	110	5,67	0,28	8,2	1050
18	10	170	7,52	0,47	9,5	2000
20	12	235	10,15	0,81	11,7	4100
<i>Хвойная СНГ</i>						
16	10	140	4,74	0,23	11,1	1700
18	14	155	4,17	0,36	12,5	2000
20	18	160	4,41	0,37	12,0	2200

Последовательность разрушения образцов формованных изделий при сжатии условно можно разделить на несколько стадий, что на рис. 2 проиллюстрировано с помощью отдельных кадров (1–7) видеофиксации.

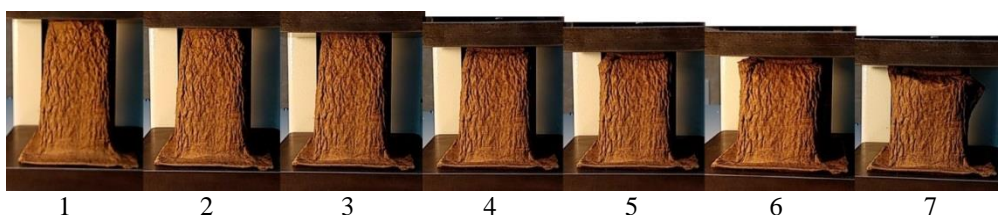
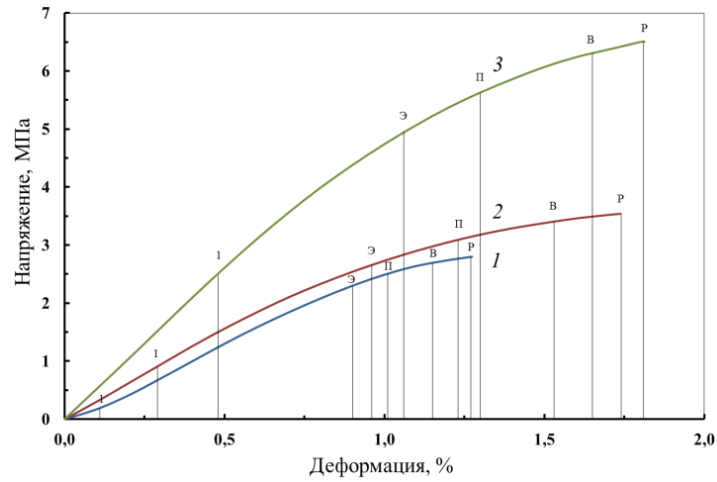


Рис. 2. Процесс разрушения образцов формованных изделий при одноосном статическом сжатии

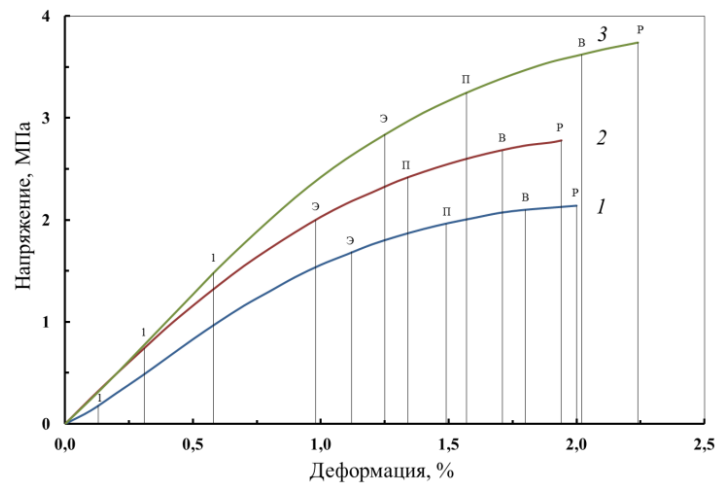
Fig. 2. Destruction of molded product samples under monoaxial static compression

На первой стадии (кадры 1–3) происходит вдавливание плоскости (дна) образца в корпус формованного изделия и постепенное перераспределение нагрузки на его стенки. Дальнейшее разрушение образцов наблюдается в верхней части испытуемого изделия, имеющей минимальную площадь сечения. При этом стенки деформируются в виде гармошки (кадры 4–6) вплоть до полной потери устойчивости образца, окончательного его смятия и разрушения на отдельных участках структуры (кадр 7).

На основе методики, предложенной В.И. Комаровым [1], была выполнена оценка динамики изменения стадий развития деформаций при растяжении, предшествующих окончательному разрушению, в зависимости от степени разработки волокон. Данные приведены на рис. 3, где т. 1 – предел упругости; т. Э – эффективная точка, усредненно характеризующая замедленно-упругую составляющую вязкоупругой зоны; т. П – начало пластических деформаций; т. В – начало дополнительной вытяжки; т. Р – разрушение образца. Максимальный уровень деформационно-прочностных свойств при одноосном статическом растяжении материалов структуры формованных изделий достигается на верхней границе принятого диапазона степени помола волокон.



а



б

Рис. 3. Зависимости  $\sigma_p$ – $\varepsilon_p$ , полученные при одноосном статическом растяжении стенок образцов формованных изделий из отходов грубого сортирования лиственной (а) и хвойной (б) ШПЦ при степени помола 16 (1); 18 (2); 20 °ШР (3)

Fig. 3. Dependences  $\sigma_p$ – $\varepsilon_p$ , obtained by monoaxial static stretching of walls of molded product samples made of coarse screening wastes of hardwood (а) and softwood (б) unbleached sulfate pulp with a Shopper-Riegler grinding degree of 16 (1); 18 (2); 20 (3)

Как видно из рис. 3, при минимальной степени разработки волокон упругая зона деформирования (от  $\varepsilon_p = 0$  до т. 1) составляет лишь 8 % от общей деформации в случае лиственной целлюлозы и 6 % в случае хвойной, а замедленно-упругая (участок от т. 1 до т. П) – соответственно 70 и 68 %. Пластическая зона (участок от т. П до т. Р) для указанных образцов имеет вклад соответственно около 22 и 26 %, что свидетельствует о преимущественном хрупком характере деформирования и разрушения структуры формованных изделий из неразработанных волокон сучковой массы. При увеличении степени разработки волокон до 20 °ШР наблюдается перераспределение зон деформирования: упругая составляющая деформации (как для лиственной, так и для



хвойной целлюлозы) последовательно возрастает в относительном выражении на 300 %, в абсолютном – с 6–8 до 26 процентных пунктов; замедленно-упругая составляющая остается преобладающей, хотя ее доля снижается с 70 до 45 %; доля пластической составляющей – возрастает до 30 %.

Таким образом, умеренная разработка волокон позволяет повысить эластичность структуры формованных изделий из отходов грубого сортирования небеленой целлюлозы за счет развития упругой составляющей деформации.

Зависимости  $\sigma_p$ – $\varepsilon_p$ , полученные при сжатии формованных изделий (рис. 4), имеют схожий характер с представленными ранее зависимостями при растяжении.

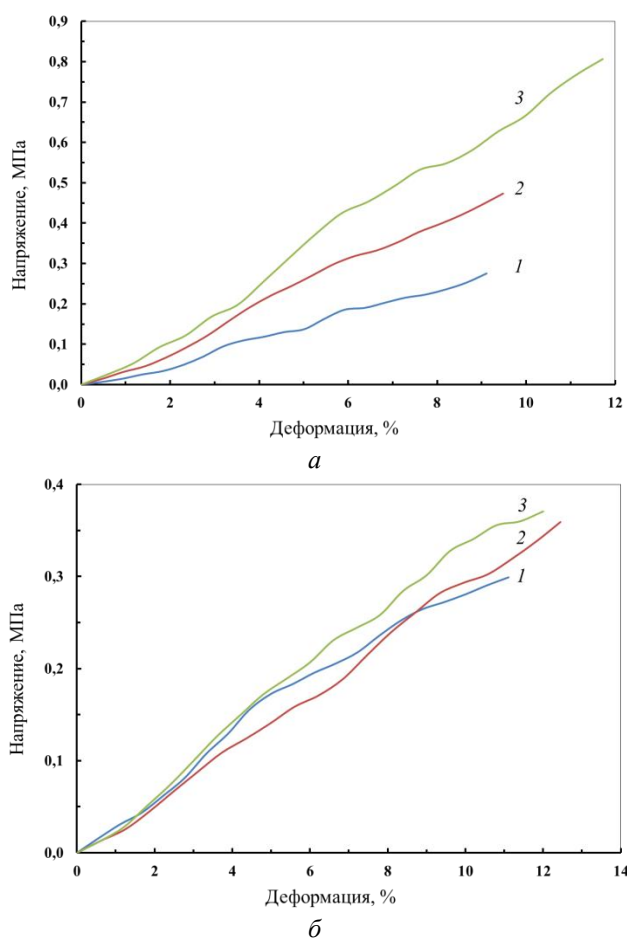


Рис. 4. Зависимости  $\sigma_p$ – $\varepsilon_p$ , полученные при одноосном статическом сжатии образцов формованных изделий из отходов грубого сортирования лиственной (а) и хвойной (б) ШЦ при степени помола 16 (1); 18 (2); 20 °ШР (3)

Fig. 4. Dependences of  $\sigma_p$ – $\varepsilon_p$  obtained by monoaxial static compression of molded product samples made of coarse screening wastes of hardwood (a) and softwood (b) unbleached sulfate pulp with a Shopper-Riegler grinding degree of 16 (1); 18 (2); 20 (3)

Типичные зависимости  $\sigma_p$ – $\epsilon_p$ , полученные при сжатии формованных изделий, включают в себя два участка: на основном участке напряжение возрастает до максимального, на нисходящем – снижается, что обусловлено разрушением образца. Применительно к обсуждаемым результатам нисходящая часть графиков не рассматривается, поскольку интерес представляет максимальный уровень прочности и деформативности исследуемых образцов.

Следует отметить, что при достижении максимальной степени разработки волокон образцы формованных изделий из отходов грубого сортирования лиственной целлюлозы сопоставимы по уровню общей деформации с образцами из отходов хвойной целлюлозы, имея прочность структуры в два раза выше – соответственно 0,8 и 0,4 МПа.

В случае сжатия формованных изделий оценить изменение стадий развития деформаций, предшествующих окончательному разрушению, не представилось возможным из-за немоного изменения формы кривых  $\sigma_p$ – $\epsilon_p$ .

Для установления зависимостей между показателями, полученными при испытаниях материала и самих формованных изделий из отходов сортирования СНЦ, выполнен парный корреляционный анализ. Расчетные значения парных коэффициентов корреляции при доверительной вероятности 0,95 и числе степеней свободы 4 представлены в табл. 3, где значимые коэффициенты выделены полужирным шрифтом.

Таблица 3

## Расчетные коэффициенты корреляции

Основные характеристики материала стенок формованных изделий	Основные характеристики при сжатии формованных изделий					
	$F$ , Н	$TEA$ , Дж/м <sup>2</sup>	$\sigma_p$ , МПа	$\epsilon_p$ , %	$E_t$ , МПа	$A$ , Дж
$F$ , Н	<b>0,85</b>	<b>0,88</b>	<b>0,84</b>	0,44	0,63	<b>0,82</b>
$L$ , м	<b>0,89</b>	<b>0,90</b>	<b>0,91</b>	0,41	0,70	<b>0,81</b>
$S_t$ , кН/м	<b>0,89</b>	<b>0,91</b>	<b>0,98</b>	0,22	<b>0,86</b>	0,70
$TEA$ , Дж/м <sup>2</sup>	0,72	0,72	0,56	0,75	0,23	<b>0,88</b>
$\sigma_p$ , МПа	<b>0,91</b>	<b>0,93</b>	<b>0,97</b>	0,25	<b>0,86</b>	0,74
$\epsilon_p$ , %	0,32	0,29	0,03	<b>0,85</b>	–0,29	0,64
$E_t$ , МПа	<b>0,81</b>	<b>0,83</b>	<b>0,95</b>	0,01	<b>0,93</b>	0,54
$A$ , мДж	0,72	0,72	0,56	0,75	0,23	<b>0,88</b>
$E_{CT}$ , кН/м	<b>0,84</b>	<b>0,85</b>	<b>0,82</b>	0,66	0,46	<b>0,86</b>
$S_b$ , Н/см <sup>2</sup>	0,64	0,63	0,64	0,38	0,38	0,63

Примечание.  $A$  – работа, мДж;  $L$  – разрывная длина, м.

Как видно из данных табл. 3, существуют линейные зависимости между аналогичными базовыми характеристиками, описывающими процессы упруго-пластического деформирования при растяжении материала стенок и сжатии самого формованного изделия. Подобные эмпирические взаимосвязи позволяют анализировать и регулировать обсуждаемые свойства, не прибегая к испытаниям объемных изделий, а основываясь на данных, полученных при использовании стандартных методов испытаний листовых целлюлозно-бумажных материалов.

*Заключение*

Установлены уровни прочностных и деформационных характеристик структур формованных изделий из отходов сортирования лиственной и хвойной СЩ в узком диапазоне изменения степени разработки волокон. Подтверждена возможность использования отходов грубого сортирования СЩ, являющихся экологически безопасным первичным волокном, в качестве сырья для производства формованных изделий различного назначения.

Выявлены зависимости между аналогичными базовыми характеристиками, описывающими процесс при растяжении материала стенок и сжатии самого формованного изделия, что позволяет анализировать и регулировать деформационно-прочностные свойства объемных изделий, не прибегая к их испытаниям.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Комаров В.И.* Деформация и разрушение волокнистых целлюлозно-бумажных материалов: моногр. Архангельск: АГТУ, 2002. 440 с.
2. Пат. 2634235 Российская Федерация. Способ переработки отходов сортирования сульфатной целлюлозы в формованные изделия / А.В. Гурьев, А.В. Поташев; САФУ им. М.В. Ломоносова. № 2016144373; заявл. 11.11.2016; опубл. 24.10.2017.
3. *Поташев А.В., Гурьев А.В.* Физико-механические свойства структуры формованных изделий из отходов сортирования сульфатной целлюлозы // Системы, методы, технологии. 2017. № 3(35). С. 120–126. DOI: 10.18324/2077-5415-2017-3-120-126
4. *Eagleton D.G., Marcondes J.A.* Cushioning Properties of Moulded Pulp // Packaging Technology and Science. 1994. Vol. 7, iss. 2. Pp. 65–72. DOI: 10.1002/pts.2770070203
5. *Gurav S.P., Bereznitski A., Heidweiller A., Kandachar P.V.* Mechanical Properties of Paper-Pulp Packaging // Composites Science and Technology. 2003. Vol. 63, iss. 9. Pp. 1325–1334. DOI: 10.1016/S0266-3538(03)00104-0
6. *Hoffmann J.* Compression and Cushioning Characteristics of Moulded Pulp Packaging // Packaging Technology and Science. 2000. Vol. 13, iss. 5. Pp. 211–220. DOI: 10.1002/1099-1522(200009)13:5<211::AID-PTS515>3.0.CO;2-0
7. *Ji H., Wang H.* Short Span Compressive Stress-Strain Relation and Model of Molded Pulp Material // Key Engineering Materials. 2011. Vol. 450. Pp. 202–205. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.450.202
8. *Ma X., Soh A.K., Wang B.* A Design Database for Moulded Pulp Packaging Structure // Packaging Technology and Science. 2004. Vol. 17, iss. 4. Pp. 193–204. DOI: 10.1002/pts.658
9. *Wang Z.-W., Li X.-F.* Effect of Strain Rate on Cushioning Properties of Molded Pulp Products // Materials and Design. 2014. Vol. 57. Pp. 598–607. DOI: 10.1016/j.matdes.2014.01.019

Поступила 21.11.18

UDC 676.16.022.6.031

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.119

**Structure Deformation Features of Molded Pulp Products****A.V. Potashev<sup>1</sup>**, Engineer**A.V. Gur'ev<sup>1</sup>**, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor**I.B. Filippov<sup>2</sup>**, Candidate of Engineering Sciences, Chief Technologist – Deputy Director for Production**V.G. Moseev<sup>2</sup>**, Head of Pulp Production<sup>1</sup>Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: a.potashev@narfu.ru, a.guriev@narfu.ru<sup>2</sup>Arkhangelsk Pulp and Paper Mill, ul. Mel'nikova, 1, Novodvinsk, Arkhangelsk region, 164900, Russian Federation; e-mail: filippov.ilya@apm.ru, moseev.vadim@apm.ru

Molded pulp products in comparison with products made of traditional raw materials are resource saving and environmentally friendly. Nowadays, they are increasingly used as alternative primary package and auxiliary packaging materials instead of polymer materials. Waste paper fibers as well as cellulose fibers obtained from wood and annual plants are the raw materials for the manufacturing of such products. As another potential fiber source for molded products we consider fibers of coarse screening waste (screening) formed during the sulphate hardwood or softwood pulp production. These rejected materials are large-tonnage (up to 0.5 – 1.0 % of the gross weight after pulping). Such wastes can be disposed of in multi-fuel boilers with getting heat and electrical energy and then redirected to pulping, refined with afterward return to the main stock flow or used in the composition of different types of cardboard. However, they are mainly stored in industrial waste landfills of enterprises. Cells for growing and planting of forest crop seedlings with the closed root system can be considered as one of the simplest and most popular types of molded articles made of screening. These cells do not have special requirements for the quality of molding. However, in order to use molded articles efficiently for reforestation purposes, it is necessary to study the strength and deformation properties of the structure of molded articles made of various raw materials. Model laboratory samples of molded cells made of coarse screening waste fibers refined from 16 to 20 Shopper-Riegler grinding degrees were studied. The basic physicomachanical characteristics of the material of products with 400 g weight of 1 m<sup>2</sup> under stretching, compression and bending, as well as the characteristics during compression of the molded products are determined. A linear dependence between deformation and strength characteristics of the molded articles and the similar characteristics of their wall's material is detected.

**Acknowledgements:** The equipment of the Engineering and Innovation Center “Advanced Northern Bioresources Processing Technologies” (Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov) created with the financial support of the Russian Ministry of Education and Science was used.

**For citation:** Potashev A.V., Gur'ev A.V., Filippov I.B., Moseev V.G. Structure Deformation Features of Molded Pulp Products. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2019, no. 2, pp. 119–129. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.119

**Keywords:** molded pulp, fiber, cellulose, coarse screening wastes, stretching, compression, bending.

## REFERENCES

1. Komarov V.I. *Deformation and Destruction of Fibrous Pulp and Paper Materials*: Monography. Arkhangelsk, ASTU Publ., 2002. 440 p.
2. Gurev A.V., Potashev A.V. *Method of Processing Waste Sorting of Sulphate Cellulose in Molded Products*. Patent RF, no. 2634235, 2016.
3. Potashev A.V., Guryev A.V. Physico-Mechanical Properties of the Structure of Molded Articles from Sulfate Cellulose Screening Waste. *Sistemy. Metody. Tekhnologii* [Systems. Methods. Technologies], 2017, no. 3(35), pp. 120–126.
4. Eagleton D.G., Marcondes J.A. Cushioning Properties of Moulded Pulp. *Packaging Technology and Science*, 1994, vol. 7, iss. 2, pp. 65–72. DOI: 10.1002/pts.2770070203
5. Gurav S.P., Bereznitski A., Heidweiller A., Kandachar P.V. Mechanical Properties of Paper-Pulp Packaging. *Composites Science and Technology*, 2003, vol. 63, iss. 9, pp. 1325–1334. DOI: 10.1016/S0266-3538(03)00104-0
6. Hoffmann J. Compression and Cushioning Characteristics of Moulded Pulp Packaging. *Packaging Technology and Science*, 2000, vol. 13, iss. 5, pp. 211–220. DOI: 10.1002/1099-1522(200009)13:5<211::AID-PTS515>3.0.CO;2-0
7. Ji H., Wang H. Short Span Compressive Stress-Strain Relation and Model of Molded Pulp Material. *Key Engineering Materials*, 2011, vol. 450, pp. 202–205. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.450.202
8. Ma X., Soh A.K., Wang B. A Design Database for Moulded Pulp Packaging Structure. *Packaging Technology and Science*, 2004, vol. 17, iss. 4, pp. 193–204. DOI: 10.1002/pts.658
9. Wang Z.-W., Li X.-F. Effect of Strain Rate on Cushioning Properties of Molded Pulp Products. *Materials and Design*, 2014, vol. 57, pp. 598–607. DOI: 10.1016/j.matdes.2014.01.019

Received on November 21, 2018

---

УДК 674.812

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.130

## МОДИФИКАЦИЯ ФЕНОЛОФОРМАЛЬДЕГИДНЫХ СМОЛ ОТХОДАМИ ПРОИЗВОДСТВА АЛЮМИНИЯ И ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

*Д.С. Русаков, канд. техн. наук, доц.*

*Г.С. Варанкина, д-р техн. наук, проф.*

*А.Н. Чубинский, д-р техн. наук, проф.*

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия, 194021; e-mail: dima-ru25@mail.ru, varagalina@yandex.ru, a.n.chubinsky@gmail.com

При производстве алюминия образуется большое количество техногенных отходов. Технологический процесс самообжигающихся анодов подразумевает образование следующих побочных продуктов: шламы газоочистки, пыль электрофильтров, хвосты флотации угольной пены, отходы шламового поля (шламы), шамотная и угольная футеровка электролизеров. Крупные города Сибирского региона России (Красноярск, Братск, Иркутск) вблизи городской черты имеют свалки многотоннажных неутрализованных отходов, которые создают угрозу природе и жителям городов. Оценена возможность применения отходов алюминиевого и целлюлозно-бумажного производств в качестве модификатора готовых фенолоформальдегидных смол. Пыль электрофильтров, представляющую собой химически активный мелкодисперсный порошок черного цвета, можно использовать для уменьшения токсичности синтетических смол и клеев на их основе, шлам холодного отстоя (полидисперсный, полифункциональный сополимер, который состоит из структурных единиц лигнина) – для модификации синтетических клеев. В ходе исследования определяли условную вязкость клея через 1 ч после введения модификатора, жизнеспособность клея, продолжительность отверждения и эмиссию формальдегида. Для обоснования технологии склеивания фанеры фенолоформальдегидным клеем на основе смолы СФЖ-3013, модифицированной отходами алюминиевого и целлюлозно-бумажного производств, проведен многофакторный эксперимент с определением содержания модификатора в смоле, продолжительности и давления прессования. Установлено, что введение в фенолоформальдегидные смолы отходов алюминиевого и целлюлозно-бумажного производств позволит снизить стоимость готовой продукции, утилизировать отходы промышленного производства, повысить прочность готовой продукции и сократить содержание свободного формальдегида в ней.

**Для цитирования:** Русаков Д.С., Варанкина Г.С., Чубинский А.Н. Модификация фенолоформальдегидных смол отходами производства алюминия и целлюлозы // Лесн. журн. 2019. № 2. С. 130–140. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.130

**Ключевые слова:** шпон, фанера, фенолоформальдегидная смола, модификация, отходы производства, пыль электрофильтров, шлам холодного отстоя, режимы склеивания, прочность готовой продукции, токсичность готовой продукции.

### *Введение*

Отходы производства алюминия в России составляют четверть от всех техногенных отходов, которые образуются при производстве цветных металлов [11]. Например, в технологии самообжигающихся анодов образуются следующие побочные продукты производства алюминия: шламы газоочистки, пыль электрофильтров, хвосты флотации угольной пены, отходы шламового

поля (шламы), шамотная и угольная футеровка электролизеров. В крупных городах Сибирского региона (Красноярск, Братск, Иркутск) хранилища многотоннажных отходов располагаются вблизи городской черты, что создает угрозу как населению, так и природе [7].

Отходом, который можно и нужно эффективно перерабатывать, является угольная пыль электрофильтров – мелкодисперсный порошок черного цвета, образующийся при предварительной очистке (обеспыливании) отходящих электролизных газов. Примерный химический состав (%) пыли электрофильтров алюминиевого производства [1]: натриевая соль серной кислоты ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) – 16,5; оксид железа ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) – 1,8; диоксид кремния ( $\text{SiO}_2$ ) – 0,2; фторид кальция ( $\text{CaF}_2$ ) – 1,7; фторид магния ( $\text{MgF}_2$ ) – 0,4; фторид алюминия ( $\text{AlF}_3$ ) – 9,8; оксид алюминия ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) – 23,9; угольная пыль – 26,8; смешанная соль плавиковой кислоты и металлов (алюминия и натрия) – ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ) – 18,9.

Продукты конденсации фенольных соединений, в которых ОН-группы находятся главным образом в *орто*- или *мета*-положении к кислотному остатку, могут быть модифицированы солями натрия, цинка, кальция и др. [2]. Особенно эффективен сульфат натрия. Они ускоряют отверждение клеев и одновременно повышают адгезионную прочность.

Отверждение фенолоформальдегидных смол резольного типа происходит в процессе поликонденсации с обязательным выделением побочных продуктов (вода или формальдегид) и протекает со значительно меньшей скоростью в сравнении со смолой новолачного типа. Для повышения скорости отверждения смол резольного типа применяют катализаторы: соли щелочных металлов, оксиды кальция, магния, железа, алюминия и других металлов. Предполагается [8], что в процессе горячего прессования они связывают гидроксогруппы фенольных ядер, а также служат дополнительным сшивающим агентом.

В работе [1] показана возможность использования мелкодисперсной угольной пыли электрофильтров предварительного обеспыливания отходящих электролизных газов алюминиевого производства в качестве модификатора готовых фенолоформальдегидных смол.

Предприятия, которые производят клееные древесные материалы, должны обеспечивать для готовой продукции низкий уровень эмиссии формальдегида (Е1). Одним из направлений уменьшения токсичности синтетических смол и клеев на их основе является их модификация [12–19], в этом случае могут быть использованы и отходы производства целлюлозы, в частности шлам холодного отстоя (ШХО) [3, 9] – порошок, который образуется осаждением гидролизата при получении кормовых дрожжей. По составу ШХО – это аморфный, полидисперсный, полифункциональный сополимер, который состоит из низкомолекулярной фракции лигнина, содержащей метоксильные (7,0...10,2 %), карбонильные (3,5...7,1 %), карбоксильные (1,5...2,0 %) и фенольные гидроксильные (3,2...5,6 %) группы [10]. ШХО за счет карбоксильных и фенольных ОН-групп активнее вступает в химические реакции при получении модифицированной фенолоформальдегидной смолы, чем сульфатный и гидролизный лигнин, а также содержащее лигнин вещество типа «карамель».

Цель исследования – изучение физико-химических и физико-механических свойств модифицированных отходами алюминиевого и целлюлозно-бумажного производств фенолоформальдегидных клеев для производства фанеры.

Таблица 1

**Методическая сетка экспериментального склеивания шпона с применением модифицированного фенолоформальдегидного клея**

Задача исследования	Постоянные факторы эксперимента				Переменные факторы эксперимента				Количество		
	Наименование	Значение	Наименование	Значение	Выходной параметр эксперимента	опытов	повторений опытов	наблюдений	общее		
1. Исследование зависимости продолжительности отверждения клея и прочности фанеры от количества пыли электрофильтров в смоле марки СФЖ-3013	Марка смолы	СФЖ-3013	Содержание пыли электрофильтров в смоле, %	1,0 1,4 1,8	Предел прочности при скалывании по клеевому слою фанеры после кипячения в воде в течение 1 ч, МПа, не менее	14	3	4	168		
	Порода шпона	Береза	Продолжительность прессования, мин	6,0 7,5 9,0							
	Температура воздуха в цехе склеивания, °С	20	Давление прессования, МПа	1,0 1,75 2,5							
	Толщина фанеры, мм	9,0	Содержание ШХО в смоле, % Расход клея, г/м <sup>2</sup>	5 15 25 120 130 140	Содержание свободного формальдегида, мг/100 г абс. сухой фанеры	14	3	4	168		
	Вязкость клея, с	75									
	2. Исследование зависимости токсичности фанеры от содержания ШХО в смоле марки СФЖ-3013 и расхода клея	Концентрация клея, %	41	Содержание ШХО в смоле, % Расход клея, г/м <sup>2</sup>	5 15 25 120 130 140	Содержание свободного формальдегида, мг/100 г абс. сухой фанеры	14	3	4	168	
Температура прессования, °С		120									



*Объекты и методы исследования*

В экспериментах использовали фенолоформальдегидную смолу марки СФЖ-3013, в которую вводили модификаторы: угольную пыль электрофильтров (размер частиц 0,01...0,05 мм), ШХО (0,01...0,20 мм).

В ходе экспериментов определяли: условную вязкость клея через 1 ч после введения модификатора, жизнеспособность клея, продолжительность отверждения и эмиссию формальдегида.

Для обоснования технологии склеивания фанеры проводили многофакторный эксперимент. Фанеру склеивали фенолоформальдегидным клеем на основе смолы СФЖ-3013, модифицированной отходами алюминиевого производства. Контролировали содержание модификатора в смоле, продолжительность и давление прессования.

В целях обоснования снижения токсичности фанеры был осуществлен многофакторный эксперимент по склеиванию фанеры фенолоформальдегидным клеем на основе смолы СФЖ-3013, модифицированной отходами целлюлозно-бумажного производства. Условия проведения экспериментов приведены в табл. 1.

При испытании фанеры по методикам [4–6] определяли прочность клеевого соединения при скалывании по клеевому слою, содержание свободного формальдегида в готовой продукции.

Для обработки экспериментальных данных использовали В-план второго порядка. Оптимизацию параметров технологического процесса склеивания фанеры модифицированными клеями проводили методом условного центра масс.

*Результаты исследования и их обсуждение*

Полученные результаты показывают, что используемые модификаторы позволяют снизить продолжительность отверждения фенолоформальдегидного клея (табл. 2).

Таблица 2

**Свойства фенолоформальдегидного клея на основе смолы СФЖ-3013**

Модификатор	Массовое содержание модификатора, %	Условная вязкость клея через 1 ч после изготовления, с	Жизнеспособность клея, ч	Продолжительность процесса отверждения, с
Без модификатора	0	49	–	579
Угольная пыль электрофильтров (размер частиц 0,01...0,05 мм)	1,0...1,8	75...90	4...6	520
ШХО (0,01...0,20 мм)	5...25	65...85	5	505

Сравнительный анализ подтвердил, что модификаторы улучшают эксплуатационные свойства клеевых соединений в готовой продукции.

Для обоснования режимов прессования и увеличения прочности фанеры проведена серия экспериментов по склеиванию фанеры согласно матрице планирования (табл. 3).

Таблица 3

**Зависимость прочности при скалывании  
по клеевому слою фанеры от влияющих факторов**

№ опыта	Матрица планирования в кодированных значениях переменных факторов			Натуральные значения переменных факторов			Средняя прочность при скалывании по клеевому слою		
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$q$	$\tau$	$P$	$\sigma$ , МПа	Среднее квадратическое отклонение	Коэффициент вариации, %
1	-1	-1	-1	1,0	6,0	1,0	1,36	0,183	12
2	+1	-1	-1	1,8	6,0	1,0	1,79	0,211	14
3	-1	+1	-1	1,0	9,0	1,0	1,34	0,174	11
4	+1	+1	-1	1,8	9,0	1,0	1,85	0,187	12
5	-1	-1	+1	1,0	6,0	2,5	1,45	0,201	13
6	+1	-1	+1	1,8	6,0	2,5	1,77	0,184	12
7	-1	+1	+1	1,0	9,0	2,5	1,44	0,190	11
8	+1	+1	+1	1,8	9,0	2,5	1,72	0,176	12
9	-1	0	0	1,0	7,5	1,75	1,34	0,201	13
10	+1	0	0	1,8	7,5	1,75	1,75	0,183	12
11	0	-1	0	1,4	6,0	1,75	1,55	0,229	15
12	0	+1	0	1,4	9,0	1,75	1,60	0,216	14
13	0	0	-1	1,4	7,5	1,0	1,72	0,179	12
14	0	0	+1	1,4	7,5	2,5	1,75	0,242	16

Примечание: Переменные факторы: содержание модификатора в смоле –  $X_1$  ( $q$ ), %; продолжительность прессования –  $X_2$  ( $\tau$ ), мин; давление прессования –  $X_3$  ( $P$ ), МПа.

Склеивание производили на действующем фанерном производстве по режимам, принятым в соответствии с технологическим регламентом. Фанеру испытывали на прочность при скалывании по клеевому слою.

На основании предварительных экспериментов установлено, что при введении в смолу марки СФЖ-3013 угольной пыли электрофильтров в количестве более 2 % прочность фанеры снижается. Поэтому в эксперименте исследовалась зависимость  $\sigma$  от  $q$  при содержании пыли от 1,0 до 1,8 %.

По результатам испытаний фанеры были получены зависимости (рис. 1, 2), описывающие влияние на прочность ( $\sigma$ , МПа) фанеры при скалывании по клеевому слою содержания пыли электрофильтров в смоле ( $q$ , %), продолжительности ( $\tau$ , мин) и давления ( $P$ , МПа) прессования:

$$\sigma = -1,2q^2 + 2,835q + 0,019 \quad (\text{при } \tau = 7,5 \text{ мин; } P = 1,75 \text{ МПа}); \quad (1)$$

$$\sigma = -0,024\tau^2 + 3,772\tau - 14,096 \quad (\text{при } q = 1,4 \text{ %; } P = 1,75 \text{ МПа}); \quad (2)$$

$$\sigma = -0,456P^2 + 2,058P - 0,623 \quad (\text{при } q = 1,4 \text{ %; } \tau = 7,5 \text{ мин}). \quad (3)$$

Пределы варьирования:  $1,0 \text{ %} \leq q \leq 1,8 \text{ %}$ ;  $6,0 \text{ мин} \leq \tau \leq 9,0 \text{ мин}$ ;  $1,0 \text{ МПа} \leq P \leq 2,5 \text{ МПа}$ .

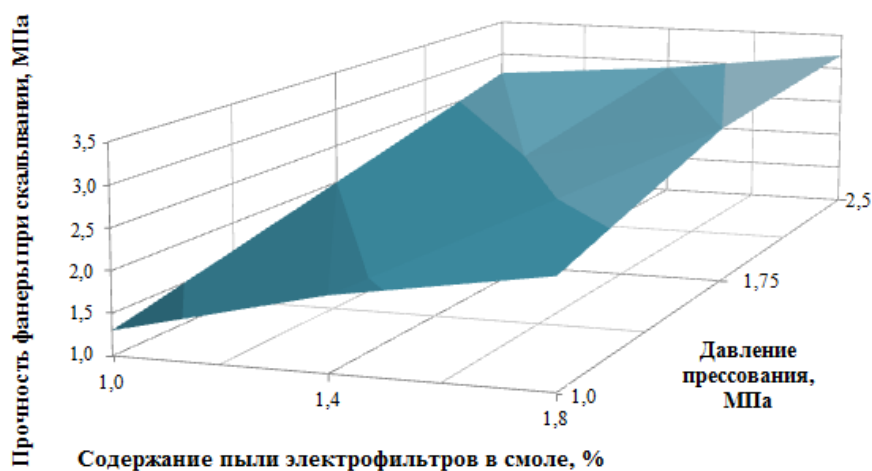


Рис. 1. Зависимость прочности фанеры при скалывании по клеевому слою от содержания пыли электрофильтров в смоле и давления прессования

Fig. 1. Dependence of plywood split strength on adhesive layer on dust content of electrostatic precipitators in resin and compacting pressure

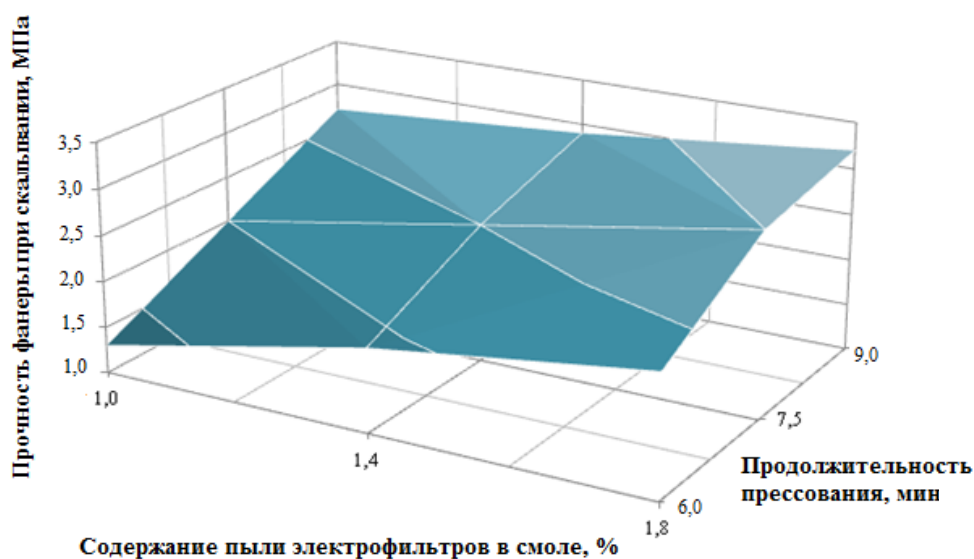


Рис. 2. Зависимость прочности фанеры при скалывании по клеевому слою от содержания пыли электрофильтров в смоле и продолжительности прессования

Fig. 2. Dependence of plywood split strength on adhesive layer on dust content of electrostatic precipitators in resin and compacting duration

Анализ рис. 1, 2 показал, что введение пыли электрофильтров в смолу СФЖ-3013 увеличивает прочность и скорость отверждения клея.

Используя метод поиска оптимальных значений (метод условного центра масс), сформулируем задачу следующим образом: необходимо найти та-

кие значения переменных факторов, которые при соблюдении параметрических ограничений обеспечивают максимальную прочность при наибольшем содержании модификатора в смоле и минимальных значениях продолжительности прессования и удельного расхода клеевой композиции.

Фиксированные параметры: толщина фанеры  $h = 9,0$  мм; концентрация клея  $C = 41$  %; температура прессования  $T = 120$  °С; влажность шпона  $W_{\text{шп}} = 6$  %.

Параметры проектирования: содержание модификатора в смоле –  $x_1 = q$ ; продолжительность прессования –  $x_2 = \tau$ ; давление прессования –  $x_3 = P$ .

Параметрические ограничения:  $1,0\% \leq q \leq 1,8\%$ ;  $6,0 \text{ мин} \leq \tau \leq 9,0 \text{ мин}$ ;  $1,0 \text{ МПа} \leq P \leq 2,5 \text{ МПа}$ .

С помощью пакета прикладных программ MS Excel 2016 для поиска оптимальных значений при количестве расчетных точек 100 шт. найдены оптимальные параметры режимов склеивания фанеры (табл. 4), при которых достигнуты наилучшие значения показателей качества.

Таблица 4

Расчетные значения исследуемых параметров технологического режима

Влияющий фактор	Параметр проектирования	Размерность	Значение
Содержание модификатора в смоле	$x_1$	%	1,4
Продолжительность прессования	$x_2$	мин	7,5
Давление прессования	$x_3$	МПа	1,75

Принятые параметры режимов прессования фанеры с использованием модифицированного клея на основе фенолоформальдегидной смолы: толщина фанеры  $h = 9,0$  мм; давление прессования  $P = 1,75$  МПа; температура прессования  $T = 120$  °С; продолжительность прессования  $\tau = 7,5$  мин; содержание пыли электрофильтров в смоле  $q = 1,4$  %; вязкость клея  $\mu = 75$  с; концентрация клея  $C = 41$  %; влажность шпона  $W_{\text{шп}} = 6$  %.

Для обоснования снижения токсичности фанеры проведен многофакторный эксперимент по склеиванию березового шпона фенолоформальдегидным клеем на основе смолы СФЖ-3013, модифицированной ШХО.

В результате обработки экспериментальных данных при помощи математико-статистических методов получено уравнение регрессии, адекватно описывающее зависимость содержания свободного формальдегида в фанере от содержания ШХО в смоле и расхода клея (рис. 3):

$$m = 1,9517 - 0,017 q + 0,0038 R \quad (4)$$

$$\text{при } 5\% \leq q \leq 25\%; 120 \text{ г/м}^2 \leq R \leq 140 \text{ г/м}^2,$$

где  $m$  – содержание свободного формальдегида в фанере, мг/100 г абс. сухой фанеры;  $q$  – содержание ШХО в смоле, %;  $R$  – расход клея, г/м<sup>2</sup>.

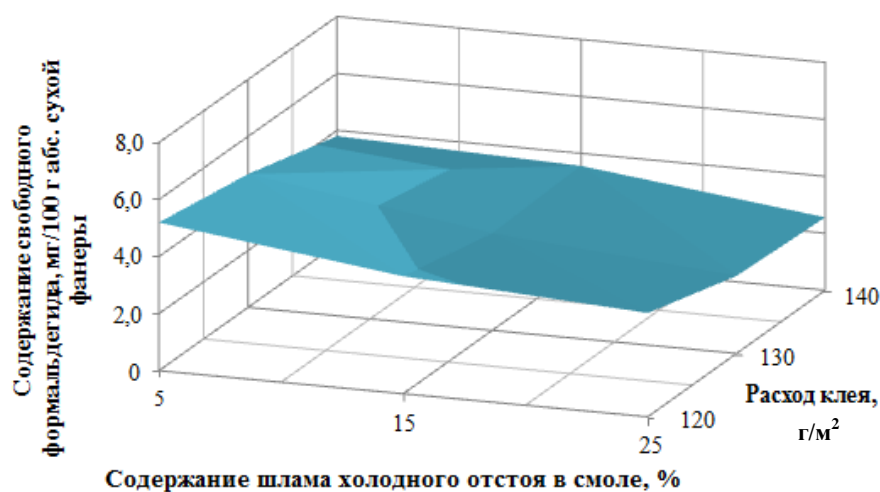


Рис. 3. Зависимость содержания свободного формальдегида в фанере от содержания ШХО в смоле и расхода клея

Fig. 3. Dependence of free formaldehyde content in plywood on cold stack sludge content in resin and glue consumption

Таким образом, установлено, что применение ШХО снижает содержание формальдегида в готовой продукции с 5,50 до 3,25 мг/100 г абс. сухой фанеры.

#### Заключение

1. Использование отходов алюминиевого и целлюлозно-бумажного производств в клеевых составах на основе фенолоформальдегидных смол позволит уменьшить себестоимость готовой продукции и утилизировать отходы этих производств.
2. Введение в фенолоформальдегидные смолы угольной пыли электрофильтров алюминиевого производства повышает прочность фанеры на 20...50 %, снижает содержание свободного формальдегида в готовой продукции на 5...15 %.
3. Добавка шлама холодного отстоя снижает содержание свободного формальдегида в готовой продукции на 10...25 %.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранов А.Н., Гавриленко Л.В., Моренко А.В., Блашков А.А., Пентюхин С.И. Переработка твердых фторуглеродсодержащих отходов алюминиевого производства // Системы. Методы. Технологии. 2011. № 2(10). С. 113–115.
2. Бахман А., Мюллер К. Фенопласты. М.: Химия, 1978. 288 с.
3. Варанкина Г.С., Русаков Д.С. Модификация фенолоформальдегидной смолы побочными продуктами сульфатно-целлюлозного производства // Изв. СПбЛТА. 2013. № 204. С. 130–137.
4. ГОСТ 3916.1–96. Фанера общего назначения с наружными слоями из шпона лиственных пород. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2008. 12 с.

5. ГОСТ 9624–2009. Древесина слоистая клееная. Метод определения предела прочности при скалывании. М.: Стандартинформ, 2010. 10 с.
6. ГОСТ 27678–2014. Плиты древесные и фанера. Перфораторный метод определения содержания формальдегида. М.: Стандартинформ, 2015. 8 с.
7. Еромасов Р.Г., Никифорова Э.М., Спектор Ю.Е. Утилизация отходов алюминиевого производства в керамической промышленности // Журн. Сиб. федер. ун-та. Техника и технологии. 2012. Т. 5, вып. 4. С. 442–453.
8. Крыжановский В.К., Кербер М.Л., Бурлов В.В., Панيماتченко А.Д. Производство изделий из полимерных материалов: учеб. пособие. СПб.: Профессия, 2004. 464 с.
9. Русаков Д.С., Варанкина Г.С., Чубинский А.Н. Модификация феноло- и карбамидоформальдегидных смол побочными продуктами производства целлюлозы // Клеи. Герметики. Технологии. 2017. № 8. С. 16–20.
10. Русаков Д.С., Чубинский А.Н., Русакова Л.Н., Варанкина Г.С. Исследование свойств модифицированных фенолоформальдегидных клеев // Изв. СПбЛТА. 2018. Вып. 222. С. 155–174. DOI: 10.21266/2079-4304.2018.222.155-174
11. Шиманский А.Ф., Власов О.А., Никифорова Э.М., Еромасов Р.Г., Симонова Н.С., Васильева М.Н. Рециклинг шлаков высокотемпературного сжигания твердых бытовых отходов в технологии керамического кирпича // Фундаментальные исследования. 2016. № 3 (ч. 1). С. 76–81.
12. Chubov A., Tsaryov G., Matyushenkova E. Exclusive Wood Protection Technique // Russian Forestry Review. 2008. No. 3. P. 79.
13. Felby C., Hassingboe J., Lund M. Pilot-Scale Production of Fiberboards Made by Laccase Oxidized Wood Fibers: Board Properties and Evidence for Cross-Linking of Lignin // Enzyme and Microbial Technology. 2002. Vol. 31, iss. 6. Pp. 736–741. DOI: 10.1016/S0141-0229(02)00111-4
14. Friedl L. Concrete Sleeper Technology // European Railway Review. 2004. No. 2. Pp.73–78.
15. Hofrichter M. Review: Lignin Conversion by Manganese Peroxidase (MnP) // Enzyme and Microbial Technology. 2002. Vol. 30, iss. 4. Pp. 454–466. DOI: 10.1016/S0141-0229(01)00528-2
16. Leykauf G., Stahl W. Concrete Railway Sleepers for the Optimisation of Ballasted Track // European Railway Review. 2004. No. 2. Pp. 61–71.
17. Matyushenkova E. Wood Protection Techniques in Russia // Russian Forestry Review. 2008. No. 3. Pp. 76–78.
18. Sintonen K. Data Processing in a Plywood Factory // Raute News. Finlyandiya. 2002. Vol. 3, no. 2. P. 168.
19. Varankina G.S., Chubinsky A.N. Modification of Urea-Formaldehyde Resins Shungite Sorbents // Development and Modernization of Production: International Conference on Production Engineering, Bihac, 2013. Bihac: Bihac University, 2013. Pp. 1–4.

Поступила 20.09.18

UDC 674.812

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.130

**Modification of Phenol Formaldehyde Resins by Wastes of Aluminum and Cellulosic Pulp Production***D.S. Rusakov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor**G.S. Varankina, Doctor of Engineering Sciences, Professor**A.N. Chubinskiy, Doctor of Engineering Sciences, Professor*

Saint-Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov, Institutskiy per., 5, Saint Petersburg, 194021, Russian Federation; e-mail: dima-ru25@mail.ru, varagalina@yandex.ru, a.n.chubinsky@gmail.com

In aluminum production a large amount of anthropogenic wastes is generated. The technological process of self-baking anodes implies formation of the following by-products: gas treatment sludge, electrostatic precipitator dust, skim flotation tailings, sludge field wastes (sludge), fireclay and carbon lining of reduction cells. Major cities of Siberia (Krasnoyarsk, Bratsk, Irkutsk) near the city limits have landfill sites of large-tonnage, unutilized wastes that pose a threat to the nature and city residents. In this regard, the possibility of using aluminum and pulp and paper production wastes as a modifier of finished phenol-formaldehyde resins was evaluated. Electrostatic precipitator dust, which is chemically active fine black powder, can be used for reducing the toxicity of synthetic resins and glues based on them, cold stack sludge (polydisperse, polyfunctional copolymer, which consists of lignin structural units) for modification of synthetic glues. Funnel viscosity of glue 1 hour after the modifier introduction, glue tack range, curing time and formaldehyde emission were determined as a part of the study. In order to substantiate the technology of plywood gluing by phenol-formaldehyde glue based on SFZh-3013 (СФЖ-3013) resin modified with wastes of aluminum and pulp and paper production a multifactorial experiment with determination of the modifier content in resin, duration and compacting pressure was carried out. It has been found that introduction of aluminum and pulp and paper production wastes into phenol-formaldehyde resins will allow reducing the costs of final products, recycling wastes of pulp and paper production, increasing the final product strength and decreasing the free formaldehyde content in it.

**For citation:** Rusakov D.S., Varankina G.S., Chubinskiy A.N. Modification of Phenol Formaldehyde Resins by Wastes of Aluminum and Cellulosic Pulp Production. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2019, no. 2, pp. 130–140. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.130

**Keywords:** veneer, plywood, phenol formaldehyde resin, modification, production wastes, electrostatic precipitator dust, cold stack sludge, gluing modes, strength of final products, toxicity of final products.

## REFERENCES

1. Baranov A.N., Gavrilenko L.V., Morenko A.V., Blashkov A.A., Pentyukhin S.I. The Fluorine-Containing Solid Wastes Utilization in Aluminium Production. *Sistemy. Metody. Tekhnologii* [Systems. Methods. Technologies], 2011, no. 2(10), pp. 113–115.
2. Bakhman A., Myuller K. *Phenolic Plastics*. Moscow, Khimiya Publ., 1978. 288 p.
3. Varankina G.S., Rusakov D.S. Modification of Phenol Resin by the By-Products of Sulphate Pulp Production. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii* [News of the Saint Petersburg State Forest Technical Academy], 2013, iss. 204, pp. 130–137.
4. *GOST 3916.1-96 Plywood with Outer Layers of Deciduous Veneer for General Use. Specifications*. Moscow, Standartinform Publ., 2008. 12 p.

5. GOST 9624-2009 *Laminated Glued Wood. Method for Determination of Shear Strength*. Moscow, Standartinform Publ., 2010. 10 p.
6. GOST 27678-2014 *Wood-Based Panels and Plywood. Perforator Method for Determination of Formaldehyde Content*. Moscow, Standartinform Publ., 2015. 8 p.
7. Eromasov R.G., Nikiforova E.M., Spektor Yu.E. Recycling of Waste Aluminum Production in the Ceramic Industry. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Tekhnika i tekhnologii* [Journal of Siberian Federal University. Engineering and Technologies], 2012, vol. 5, no. 4, pp. 442–453.
8. Kryzhanovskiy V.K., Kerber M.L., Burlov V.V., Panimatchenko A.D. *Manufacture of Products from Polymeric Materials: Educational Textbook*. Saint Petersburg, Professiya Publ., 2004. 464 p.
9. Rusakov D.S., Varankina G.S., Chubinskiy A.N. Modification of Phenol- and Urea-Formaldehyde Resins by Additive Products of Cellulose Manufacture. *Klei. Germetiki, Tekhnologii*, 2017, no. 8, pp. 16–21.
10. Rusakov D.S., Chubinsky A.N., Rusakova L.N., Varankina G.S. Investigation of the Properties of Modified Phenol-Formaldehyde Adhesives. *Izvestia Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [News of the Saint Petersburg State Forest Technical Academy], 2018, iss. 222, pp. 155–174. DOI: 10.21266/2079-4304.2018.222.155-174
11. Shimanskiy A.F., Vlasov O.A., Nikiforova E.M., Eromasov R.G., Simonova N.S., Vasileva M.N. Recycling of Slag from High-Temperature Incineration of Municipal Solid Waste in the Technology of Ceramic Bricks. *Fundamental'nyye issledovaniya* [Fundamental Research], 2016, iss. 3, part 1, pp. 76–81.
12. Chubov A., Tsaryov G., Matyushenkova E. Exclusive Wood Protection Technique. *Russian Forestry Review*, 2008, no. 3, p. 79.
13. Felby C., Hassingboe J., Lund M. Pilot-Scale Production of Fiberboards Made by Laccase Oxidized Wood Fibers: Board Properties and Evidence for Cross-Linking of Lignin. *Enzyme and Microbial Technology*, 2002, vol. 31, iss. 6, pp. 736–741. DOI: 10.1016/S0141-0229(02)00111-4
14. Friedl L. Concrete Sleeper Technology. *European Railway Review*, 2004, no. 2, pp. 73–78.
15. Hofrichter M. Review: Lignin Conversion by Manganese Peroxidase (MnP). *Enzyme and Microbial Technology*, 2002, vol. 30, iss. 4, pp. 454–466. DOI: 10.1016/S0141-0229(01)00528-2
16. Leykauf G., Stahl W. Concrete Railway Sleepers for the Optimisation of Ballasted Track. *European Railway Review*, 2004, no. 2, pp. 61–71.
17. Matyushenkova E. Wood Protection Techniques in Russia. *Russian Forestry Review*, 2008, no. 3, pp. 76–78.
18. Sintonen K. Data Processing in a Plywood Factory. *Raute News. Finlyandiya*, 2002, vol. 3, no. 2, p. 168.
19. Varankina G.S., Chubinsky A.N. Modification of Urea-Formaldehyde Resins Shungite Sorbents. *Development and Modernization of Production. International Conference on Production Engineering, Bihac, 2013*. Bihac, Bihac University. 2013, pp. 1–4.

Received on September 20, 2018

---





УДК 630\*232.31

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.141

**ВАРИАТИВНОСТЬ МАССОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕМЯН  
*PINUS SYLVESTRIS* В ТАЕЖНОЙ ЗОНЕ****Н.А. Бабич<sup>1</sup>, д-р с.-х. наук, проф.****А.А. Дрочкова<sup>1,2</sup>, специалист****А.М. Комарова<sup>1</sup>, магистрант****О.П. Лебедева<sup>1</sup>, аспирант****М.М. Андропова<sup>3</sup>, канд. техн. наук, доц.**

<sup>1</sup>Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: forest@narfu.ru

<sup>2</sup>Министерство природных ресурсов и лесопромышленного комплекса Архангельской области, ул. Выучейского, д. 18, г. Архангельск, Россия, 163000;  
e-mail: annadrochkova@gmail.com

<sup>3</sup>Вологодский институт права и экономики Федеральной службы исполнения наказаний России, ул. Щетинина, д. 2А, г. Вологда, Россия, 160026;  
e-mail: mary1969@yandex.ru

Одним из главных показателей качества семян является масса 1000 шт. Цели исследования – определение средней массы 1000 шт. семян сосны обыкновенной, произрастающей в условиях Архангельской области, пределов ее варьирования, а также дифференцирование результатов по подзонам тайги региона. Проанализированы и статистически обработаны данные о массе, полученные для 28 лесхозов Архангельской области за 20-летний период (1990–2009 гг.). Установлено, что по региону средняя масса 1000 шт. семян сосны за этот период составляет  $(5,35 \pm 0,020)$  г (лимиты 3,05...6,99 г), в северной подзоне тайги –  $(5,11 \pm 0,03)$  г, в средней –  $(5,50 \pm 0,03)$  г. За 20-летний период между средней массой 1000 шт. семян в северной и средней подзонах тайги выявлено существенное различие ( $t = 13,33$ ), т. е. расхождение не случайно и достоверно. Уровень внутривидовой изменчивости массы 1000 шт. семян по шкале С.А. Мамаева низкий, следовательно, исследуемый показатель является стабильным. Наименьшее значение показателя отмечено для Мезенского лесхоза (северная подзона тайги) –  $(4,31 \pm 0,30)$  г, наибольшее – для Коношского лесхоза (средняя подзона тайги) –  $(5,96 \pm 0,17)$  г. Наибольшее значение средней массы 1000 шт. семян по региону за изученный период пришлось на 2001 г. и составило  $(5,78 \pm 0,59)$  г, наименьшее – на 1995 г. ( $(4,65 \pm 0,60)$  г). Полученные данные могут быть использованы в качестве основы (эталона) при изучении посевных качеств семян сосны обыкновенной на территории Архангельской области.

**Для цитирования:** Бабич Н.А., Дрочкова А.А., Комарова А.М., Лебедева О.П., Андропова М.М. Вариативность массовых характеристик семян *Pinus sylvestris* L. в таежной зоне // Лесн. журн. 2019. № 2. С. 141–147. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.141

*Ключевые слова:* масса 1000 шт. семян, показатель качества семян, изменчивость, сосна обыкновенная, подзона тайги.

### *Введение*

Сосна обыкновенная (*Pinus silvestris* L.) является одной из самых распространенных древесных пород на территории Архангельской области. Высока потребность в качественных семенах этой породы. Существует закономерность между массой семян и дальнейшим развитием сеянцев: чем больше масса семян, тем выше грунтовая всхожесть, приживаемость и рост сеянцев [1, 4, 10]. По данным В.Л. Черепнина [11], масса 1000 шт. семян сосны обыкновенной сильно варьирует на территории бывшего СССР. Например, наибольшее значение показателя (8,09 г) зафиксировано в степных борах Прииртышья и юга Сибири. Это объясняется влиянием большого количества факторов (географическое положение, условия произрастания, возраст, интенсивность плодоношения, размеры шишек, их расположение в кроне и т. п.) [6, 13].

Однако для Архангельской области до сих пор отсутствуют четкие данные о дифференцировании массы 1000 шт. семян сосны как отдельного и важнейшего показателя их качества по подзонам тайги региона.

Целью нашего исследования является определение средней массы 1000 шт. семян сосны и пределов ее варьирования для северной и средней подзон тайги региона, а также для области в целом. Изменения этого показателя в направлении с севера на юг могут свидетельствовать о том, насколько сильная существует зависимость массы 1000 шт. семян от климатических условий конкретного места произрастания сосны [7, 12–15].

### *Объекты и методы исследования*

В ходе исследований проанализирована документация Центра защиты леса Архангельской области – филиала Российского центра защиты леса. Установлены пределы изменчивости массы семян сосны обыкновенной на территории Архангельской области.

Обработаны и проанализированы исходные данные по массе семян, представляющих 13 лесничеств северной подзоны тайги (323) и 15 лесничеств средней подзоны тайги (503). Распределение по подзонам (см. рисунок) выполнено согласно [9], статистическая обработка исходных данных за 20-летний период (с 1990 по 2009 г.) проведена по стандартным статистическим схемам [2, 3], уровень изменчивости показателя оценен по шкале, предложенной С.А. Мамаевым [5].

Средние показатели массы 1000 шт. семян сосны обыкновенной по лесхозам области представлены в табл. 1. Установлено, масса семян северной подзоны тайги меньше, чем у семян, которые собраны в средней. Уровень внутривидовой изменчивости массы 1000 шт. семян в регионе низкий, что говорит о стабильности показателя.



Карта-схема лесничеств Архангельской области: 1 – Архангельское, 2 – Мезенское, 3 – Северодвинское, 4 – Холмогорское, 5 – Пинежское, 6 – Лешуконское, 7 – Онежское, 8 – Обозерское, 9 – Емецкое, 10 – Карпогорское, 11 – Сурское, 12 – Приозерное, 13 – Плесецкое, 14 – Емцовское учебно-опытное, 15 – Пуксоозерское, 16 – Березниковское, 17 – Выйское, 18 – Няндомское, 19 – Шенкурское, 20 – Верхнетоемское, 21 – Красноборское, 22 – Каргопольское, 23 – Коношское, 24 – Вельское, 25 – Устьянское, 26 – Котласское, 27 – Яренское, 28 – Вилегодское (цифры в скобках – средние значения массы 1000 шт. семян)

Forest district topological map of Arkhangelsk region: 1 – Arkhangel'skoye, 2 – Mezenskoye, 3 – Severodvinskoye, 4 – Kholmogorskoye, 5 – Pinezhskoye, 6 – Leshukonskoye, 7 – Onezhskoye, 8 – Obozerskoye, 9 – Emetskoye, 10 – Karpogorskoye, 11 – Surskoye, 12 – Priozernoe, 13 – Plesetskoye, 14 – Yemtsovskoye educational and experimental, 15 – Puksoozerskoye, 16 – Bereznikovskoye, 17 – Vyyskoye, 18 – Nyandomskoye, 19 – Shenkurskoye, 20 – Verkhnetoyemskoye, 21 – Krasnoborskoye, 22 – Kargopol'skoye, 23 – Konoshskoye, 24 – Vel'skoye, 25 – Ust'yanskoye, 26 – Kotlasskoye, 27 – Yarenskoye, 28 – Vilegodskoye (numbers in brackets – mean values of 1000 seed weight)

#### *Результаты исследования и их обсуждение*

По результатам анализа данных в 20-летнем цикле средняя масса 1000 шт. семян сосны обыкновенной в Архангельской области составляет  $(5,35 \pm 0,02)$  г, в северной подзоне тайги –  $(5,11 \pm 0,03)$  г, а в средней –  $(5,50 \pm 0,03)$  г. Установлено существенное различие между средней массой

Таблица 1

**Результаты статистической обработки исходных данных массы 1000 шт. семян сосны обыкновенной по лесничествам Архангельской области**

Лесничество	Среднее значение M, г	Ошибка среднего m, г	Значение		Коэффициент вариации С	Точность опыта Р	Досто- верность t
			min	max			
Архангельское	5,08	0,12	3,24	5,95	12,30	2,37	42,26
Мезенское	4,31	0,30	4,01	4,61	9,84	6,96	14,37
Северо- двинское	5,14	0,15	4,01	6,92	16,04	2,93	34,15
Холмогорское	5,18	0,12	4,14	6,72	12,09	2,37	42,16
Пинежское	5,10	0,14	4,12	6,88	14,15	2,72	36,71
Лешуконское	5,08	0,07	4,35	6,27	7,62	1,35	74,27
Онежское	5,29	0,16	4,09	6,99	18,09	2,93	34,08
Обозерское	5,34	0,10	3,98	6,86	11,76	1,91	52,43
Емецкое	5,36	0,29	4,52	6,14	13,24	5,41	18,50
Карпогорское	5,31	0,06	4,03	6,89	8,75	1,17	85,57
Сурское	5,34	0,26	4,24	6,99	17,16	4,95	20,18
Приозерное	5,42	0,27	3,98	6,98	18,16	5,04	19,85
Плесецкое	5,40	0,09	4,08	6,60	10,59	1,62	61,90
Емцовское учебно- опытное	5,38	0,29	4,52	6,14	13,05	5,33	18,76
Пуксоозерское	5,42	0,17	4,50	6,50	11,40	3,05	32,82
Березниковское	5,40	0,12	4,27	6,85	11,99	2,23	44,91
Выйское	5,44	0,44	4,12	6,87	20,03	8,18	12,23
Няндомское	5,49	0,07	3,53	6,62	11,13	1,21	82,85
Шенкурское	5,48	0,09	4,32	6,99	11,34	1,73	57,82
Верхнетоем- ское	5,68	0,14	4,81	6,82	9,53	2,46	40,62
Красноборское	5,80	0,17	4,02	6,92	15,62	3,01	33,26
Каргопольское	5,81	0,10	4,52	6,99	12,03	1,70	58,77
Коношское	5,96	0,11	4,91	6,93	10,87	1,81	55,21
Вельское	5,84	0,07	4,40	6,98	10,46	1,18	85,01
Устьянское	5,82	0,10	4,68	6,85	9,72	1,67	59,99
Котласское	5,93	0,11	4,49	6,79	10,00	1,93	51,94
Яренское	5,86	0,15	4,35	6,90	11,49	2,57	38,92
Вилегодское	5,87	0,16	5,02	6,85	9,29	2,80	35,70

1000 шт. семян в северной и средней подзонах:  $t = 9,75$ . Это свидетельствует о том, что расхождение не случайно и достоверно при вероятности безошибочного заключения 0,999. Точность опыта является достаточной для вычислений многолетней средней массы 1000 шт. семян, соответственно в северной и средней подзоне тайги – 0,63 % и 0,52 %, в целом по региону – 0,42 %. На достоверность проверены вычисления вышеупомянутых показателей: установлено, что результаты являются надежными, так как во всех расчетах  $t > 3$ . Результаты статистической обработки исходных данных массы 1000 шт. семян сосны по 28 исследуемым лесхозам разных подзон тайги Архангельской области представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Результаты статистической обработки массы 1000 шт. семян  
сосны обыкновенной по подзонам тайги**

Подзона тайги	Средняя масса, г	Лимиты массы, г	Коэффициент изменчивости С, %	Точность опыта Р, %	Показатель достоверности различий t
Северная	5,11±0,03	3,05...6,88	11,35	0,65	13,33
Средняя	5,50±0,03	3,53...6,99	11,82	0,52	
В целом по региону	5,35±0,02	3,05...6,99	12,15	0,42	–

По мере продвижения с юга на север на каждые 200 км масса 1000 шт. семян уменьшается на 0,40 г. На подобное изменение массы 1000 шт. семян в широтном направлении указывает и П.Н. Пастухова: от г. Котласа до Холмогорского района этот показатель снижается от 5,68 до 4,17 г [8].

За 20-летний период наименьшее среднее значение показателя массы 1000 шт. семян сосны выявлено в Мезенском лесничестве – (4,31±0,30) г, наибольшее – в Коношском лесничестве – (5,96±0,17) г. В целом по Архангельской области в 2001 г. средняя масса 1000 шт. семян составила (5,78±0,59) г, что является наибольшим показателем с 1990 по 2009 г., наименьший показатель зафиксирован в 1995 г. – (4,65±0,60) г.

#### *Заключение*

Таким образом, в связи с отсутствием информации об общепринятых пределах варьирования массы 1000 шт. семян на территории Архангельской области полученные нами результаты определения одного из основных показателей качества семян могут быть приняты в качестве эталонного зонального показателя.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Войчалъ П.И.* Опытные культуры сосны из сортированных семян // Лесн. журн. 1961. № 6. С. 27–30. (Изв. высш. учеб. заведений).
2. *Гусев И.И.* Моделирование экосистем: учеб. пособие. Архангельск: АГТУ, 2002. 112 с.
3. *Дворецкий М.Л.* Пособие по вариационной статистике: для лесохозяйственников. М.: Лесн. пром-сть, 1971. 104 с.
4. *Кобранов Н.П.* Из области лесного семеноведения // Лесн. журн. 1910. № 7. С. 895–919.
5. *Мамаев С.А.* Формы внутривидовой изменчивости древесных растений (на примере семейства Pinaceae на Урале). М.: Наука, 1972. 284 с.
6. *Молчанов А.А.* География плодоношения главнейших древесных пород в СССР. М.: Наука, 1967. 103 с.
7. *Новикова Т.Н., Жамъянсурен С.* Изменчивость качества семян сосны обыкновенной у южных пределов ее распространения в Сибири и Монголии // Вестн. Краснояр. гос. аграр. ун-та. 2012. № 4. С. 102–107.
8. *Пастухова П.Н.* Плодоношение сосны и ели в лесах Архангельской области // Вопросы таежного лесоводства на Европейском Севере. М.: Наука, 1967. С. 87–100.

9. Словарь-справочник таежного лесокulturника / под общ. ред. Н.А. Бабича; Арх. гос. техн. ун-т; СевНИИЛХ. 4-е изд., перераб. и доп. Архангельск, 2005. 252 с.
10. *Соболев А.Н.* О свойствах лесных семян // Лесн. журн. 1908. Вып. 2. С. 220–229.
11. *Черепнин В.Л.* Изменчивость семян сосны обыкновенной. Новосибирск: Наука, 1980. 180 с.
12. *Castro J., Hódar J.A., Gómez J.M.* Seed Size. Ch. 14 // Handbook of Seed Science and Technology / ed. by A.S. Basra. New York: Haworth Press, 2006. Pp. 397–428.
13. *Fober H.* Relation between Climatic Factors and Scots Pine (*Pinus sylvestris*) Cone Crops in Poland // Arboretum Kórnickie. 1976. Vol. 21. Pp. 367–374.
14. *Sarvas R.* Investigations of the Flowering and Seed Crop of *Pinus sylvestris* // Metsätieteellisen tutkimuslaitoksen julkaisuja. 1962. Vol. 53, no. 4. P. 198.
15. *Yakovlev I., Fossdal C.G., Skråppa T., Olsen J.E., Jahren A.H., Johnsen Ø.* An Adaptive Epigenetic Memory in Conifers with Important Implications for Seed Production // Seed Science Research. 2012. Vol. 22, iss. 2. Pp. 63–76. DOI: 10.1017/S0960258511000535

Поступила 28.11.18

UDC 630\*232.31

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.141

### Variability of Weight Characteristics of *Pinus sylvestris* Seeds in the Taiga Zone

*N.A. Babich<sup>1</sup>*, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

*A.A. Drochkova<sup>1,2</sup>*, Specialist

*A.M. Komarova<sup>1</sup>*, Master

*O.P. Lebedeva<sup>1</sup>*, Postgraduate Student

*M.M. Andronov<sup>3</sup>*, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

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

<sup>2</sup>Ministry of Natural Resources and Timber Industry Complex of Arkhangelsk Region, ul. Vyucheskogo, 18, Arkhangelsk, 163000, Russian Federation; e-mail: annadrochkova@gmail.com

<sup>3</sup>Vologda Institute of Law and Economics of the Federal Penitentiary Service of Russia, ul. Shchetinina, 2A, Vologda, 160026, Russian Federation; e-mail: mary1969@yandex.ru

One of the main indicators of seed quality is the weight of 1000 seeds. Thus, the research purpose was to determine the average weight of 1000 seeds of Scots pine growing in Arkhangelsk Region, as well as differentiate the results by subzones of the taiga region. The weight data obtained from 28 forestries of Arkhangelsk region for the 20-year period (1990–2009) was analyzed and statistically processed. The data analysis has shown that in the region at large the average weight of 1000 pine seeds for this period is  $5.35 \pm 0.02$  g (the limit is 3.05–6.99 g), while in the northern taiga subzone this indicator is  $5.11 \pm 0.03$  g and in the middle taiga subzone it is  $5.50 \pm 0.03$  g. The data of 1000 seed average weight obtained in the northern and middle taiga subzones significantly differ from each other ( $t = 13.33$ ), i.e. the discrepancy is reliable and not accidental. The level of intrapopulation variability of 1000 seed weight on the S.A. Mamaev's scale is low, therefore, the studied characteristic is stable. The lowest value of the indicator is registered in the Mezenskiy (the northern taiga subzone) forestry ( $4.31 \pm 0.30$  g); the highest is in the Konoshskiy (the middle taiga subzone) forestry ( $5.95 \pm 0.17$ ). The highest value of the average weight of 1000 pine seeds in the region for the 20-year period is  $5.78 \pm 0.59$  g, which was recorded in 2001. The lowest rate is  $4.65 \pm 0.60$  g, which was recorded in 1995. The obtained data can be used as a basis (standard) in studying the sowing qualities of Scots pine seeds in Arkhangelsk region.

**For citation:** Babich N.A., Drochkova A.A., Komarova A.M., Lebedeva O.P., Andronova M.M. Variability of Weight Characteristics of *Pinus sylvestris* Seeds in the Taiga Zone. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2019, no. 2, pp. 141–147. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.2.141

**Keywords:** 1000 seed weight, seed quality index, variability, Scots pine, taiga subzone.

#### REFERENCES

1. Voychal' P.I. Experimental Pine Crops from the Sorted Seeds. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 1961, no. 6, pp. 27–30.
2. Gusev I.I. *Ecosystem Modeling: Educational Textbook*. Arkhangelsk, ASTU Publ., 2002. 112 p.
3. Dvoretzkiy M.L. *Handbook of Variational Statistics*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1971. 104 p.
4. Kobranov N.P. From the Field of Forest Seed Breeding. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 1910, no. 7, pp. 895–919.
5. Mamaev S.A. *Forms of Intraspecific Variability of Woody Plants (On the Example of the Pinaceae Family in the Urals)*. Moscow, Nauka Publ., 1972. 284 p.
6. Molchanov A.A. *Geography of Fruiting of the Main Tree Species in the USSR*. Moscow, Nauka Publ., 1967. 103 p.
7. Novikova T.N., Zhamyansuren S. Scotch Pine Seed Quality Variability near Southern Limits of Its Spread in Siberia and Mongolia. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [The Bulletin of KrasGAU], 2012, iss. 4, pp. 102–107.
8. Pastukhova P.N. Fruiting of Pine and Spruce in the Forests of Arkhangelsk Region. *Taiga Forestry Issues in the European North*. Moscow, Nauka Publ., 1967, pp. 87–100.
9. *Dictionary-Handbook for Taiga Forester*. Under General Editorship of N. Babich, Arkhangelsk, ASTU PUBL., 2005. 252 p.
10. Sobolev A.N. On the Properties of Forest Seeds. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 1908, iss. 2, pp. 220–229.
11. Cherepnin L.V. *Variability of Scots Pine Seeds*. Novosibirsk, Nauka Publ., 1980. 180 p.
12. Castro J., Hódar J.A., Gómez J.M. Seed Size. Ch. 14. *Handbook of Seed Science and Technology*. Ed. by A.S. Basra, New York, Haworth Press, 2006, pp. 397–428.
13. Fober H. Relation between Climatic Factors and Scots Pine (*Pinus sylvestris*) Cone Crops in Poland. *Arboretum Kórnickie*, 1976, vol. 21, pp. 367–374.
14. Sarvas R. Investigations of the Flowering and Seed Crop of *Pinus sylvestris*. *Metsätieteellisen tutkimuslaitoksen julkaisu*, 1962, vol. 53, no. 4, p. 198.
15. Yakovlev I., Fossdal C.G., Skrøppa T., Olsen J.E., Jahren A.H., Johnsen Ø. An Adaptive Epigenetic Memory in Conifers with Important Implications for Seed Production. *Seed Science Research*, 2012, vol. 22, iss. 2, pp. 63–76. DOI: 10.1017/S0960258511000535

Received on November 28, 2018

---

## ПОЗДРАВЛЯЕМ!

### ПРОФЕССОРУ АНАТОЛИЮ ПЕТРОВИЧУ ЦАРЕВУ – 80 ЛЕТ



В марте 2019 г. исполнилось 80 лет профессору доктору сельскохозяйственных наук Анатолию Петровичу Цареву.

Деятельность А.П. Царева более полувека связана с лесной отраслью страны. В 1957 г. он окончил с отличием Велико-Анадольский лесной техникум (Донецкая область), в 1962 г. – также с отличием Воронежский лесотехнический институт по специальности «Лесное хозяйство», получив квалификацию инженера. С 1962 по 1964 г. работал лесничим Больше-Атмасского лесничества Черлакского лесхоза Омской области. В конце 1964 г. поступил в аспирантуру при кафедре лесоводства Воронежского лесотехнического институ-

та. В 1984 г. окончил вечернее отделение Воронежского государственного университета по специальности «Математика».

После успешной защиты кандидатской диссертации по специальности «Лесоводство» (1968 г.) и докторской диссертации по специальности «Лесные культуры, селекция, семеноводство и озеленение городов» (1986 г.) А.П. Царев трудился с 1968 по 1995 г. во Всесоюзном НИИ лесоводства и механизации лесного хозяйства и Центральном НИИ лесной генетики и селекции старшим научным сотрудником, руководителем лабораторий, заместителем директора по научной работе. Параллельно являлся нештатным сотрудником реферативного журнала «Лесоведение и лесоводство», переводил и реферировал научные статьи по лесной тематике с 10 иностранных языков.

С 1990 по 1997 г. Анатолий Петрович по совместительству был профессором кафедры лесоводства Воронежского государственного лесотехнического университета (ВГЛТУ), где преподавал лесоведение и лесоводство. В 1995–2016 гг. Царев работал профессором Петрозаводского государственного университета, преподавая дендрологию, генетику, селекцию растений, а также основы интродукции и дендрометрию. В настоящее время он является главным научным сотрудником Всероссийского НИИ лесной генетики, селекции и биотехнологии (г. Воронеж).

Основные направления научной деятельности А.П. Царева связаны с лесной селекцией, сортоиспытанием, интродукцией, плантационным лесораз-



ведением. Им лично или при его участии создано более 40 опытных объектов (маточные и коллекционные плантации, коллекции гибридов, сортоиспытательные и полезащитные насаждения) на территориях лесных производственных предприятий в разных зонах европейской части России. По результатам исследований выделены перспективные генотипы тополей, репродуктивный материал которых передавался лесохозяйственным предприятиям. Только в лесхозы лесостепной, степной и полупустынной зон передано более 5 млн стеблевых черенков и укорененных саженцев отселектированных сортов и гибридов тополей.

Анатолием Петровичем выведено и испытано в полевых условиях более 1 тыс. гибридов тополей, 40 из них оказались перспективными для различных условий местопроизрастания. Трём его гибридам ('*Болиду*', '*Ведуге*' и '*Степной Ладе*') присвоен ранг сортов, на которые получены патенты и авторские свидетельства.

По материалам исследований за 1967–2018 гг. им опубликовано более 300 научных работ, в том числе и за рубежом (в Аргентине, Белоруссии, Болгарии, Великобритании, Германии, Индии, Испании, Италии, Канаде, Китае, Нидерландах, Польше, Сербии, США, Финляндии, Чили).

Среди наиболее значимых публикаций можно отметить монографии «Сортоведение тополя» (1985 г.) и «Программы лесной селекции в России и за рубежом» (2013 г.), учебники «Генетика лесных древесных пород» (4 издания: 2000–2005 гг.) и «Селекция и репродукция лесных древесных пород» (4 выпуска: 2001–2003 гг.). Четвертый выпуск последнего учебника в 2003 г. был назван лучшим учебником года, как «не имеющий аналогов среди отечественных изданий», и награжден дипломом Ассоциации книгоиздателей России.

В 2010 г. в издательстве МГУЛ вышел новый учебник А.П. Царева «Генетика лесных древесных растений», второе издание которого опубликовано в 2013 г. В этом же издательстве в 2014 г. им с соавторами выпущен учебник «Селекция лесных и декоративных древесных пород».

Кроме того, А.П. Царев лично или в соавторстве опубликовал 30 учебно-методических пособий и рекомендаций для лесохозяйственного производства (1992–2017 гг.). Среди них можно отметить «Методику сортоиспытания лесных пород» (1977 г.), «Идентификационный ключ (определитель) наиболее распространенных тополей в умеренной зоне» (1978 г.), «Методику государственного сортоиспытания лесных пород (общая часть)» (1981 г. – в соавторстве), «Методику государственного сортоиспытания тополей» (1981 г. – в соавторстве), «Рекомендации по перспективным ассортиментам тополей и созданию насаждений различного целевого назначения» (1979–1988 гг.).

Им выиграны ряд отечественных и зарубежных грантов, в том числе Канадского университета в Абитиби-Темискаминкё (Квебек, 2005–2006 гг.), Европейского лесного консорциума в университетах Финляндии (Йоэнсуу) и Германии (Фрайбург) (2006 г.), Германского министерства продовольствия и сельского хозяйства (2015–2018 гг.).

А.П. Царев – заслуженный работник лесного комплекса Республики Карелия, заслуженный лесовод Российской Федерации, почетный работник

высшего профессионального образования, почетный работник лесного хозяйства. В настоящее время Анатолий Петрович является членом диссертационного совета по специальности 06.03.01. «Лесные культуры, селекция, семеноводство» при ВГЛТУ, экспертом Международной тополевой комиссии ФАО ООН, действительным членом Российской академии естественных наук.

Желаем нашему коллеге и товарищу крепкого здоровья и дальнейших трудовых успехов!

*М.В. Драпалюк<sup>1</sup>, С.С. Морковина<sup>1</sup>, А.И. Чернодубов<sup>1</sup>, В.А. Кострикин<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова

<sup>2</sup>Всероссийский НИИ лесной генетики, селекции и биотехнологии (г. Воронеж)

#### **The 80<sup>th</sup> Anniversary of Professor Anatoliy P. Tsarev**

*M.V. Drapalyuk<sup>1</sup>, S.S. Morkovina<sup>1</sup>, A.I. Chernodubov<sup>1</sup>, V.A. Kostrikin<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

<sup>2</sup>All-Russian Research Institute of Forest Genetics, Breeding and Biotechnology (Voronezh)

---