

ISSN 0536 – 1036

DOI:10.17238/issn0536-1036

ИЗВЕСТИЯ  
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

# Лесной журнал

Основан в 1833 г.

3/357

2017

**Уважаемые читатели, авторы, рецензенты, члены редакционной коллегии!**

Научный журнал «Известия высших учебных заведений. Лесной журнал» включен в действующий Перечень рецензируемых научных изданий РФ и публикует статьи по следующим группам специальностей: 06.03.00 Лесное хозяйство; 05.21.00 Технология, машины и оборудование лесозаготовок, лесного хозяйства, деревопереработки и химической переработки биомассы дерева; 03.02.00 Общая биология.

#### **К сведению авторов**

В журнале публикуются ранее не публиковавшиеся научные статьи, не содержащие сведений, относящихся к государственной, служебной или коммерческой тайне. Все статьи подлежат обязательному анонимному рецензированию. Отклоненные статьи авторам не возвращаются. Редакция оставляет за собой право производить сокращение и вносить редакционные изменения в рукопись. Плата за публикацию рукописей не взимается, авторский гонорар не выплачивается.

#### **Основные требования, предъявляемые к статьям:**

научная новизна; актуальность задачи, решаемой данным исследованием; корректность постановки эксперимента и полученных результатов; возможность воспроизведения экспериментальных данных; ясность и логичность изложения; правильное оформление рукописи. Текст представляется на бумажном и электронном носителях на русском или английском языке. Объем статьи не должен превышать 8–12 страниц (обзорная статья 16–18 страниц) формата А4, включая таблицы, схемы, рисунки и список литературы. Электронный вариант статьи выполняется в текстовом редакторе Microsoft Word, шрифт 14 Times New Roman, межстрочный интервал – множитель 1,2, поля – 2 см. Иллюстрации представляются в форматах Tiff или Jpg, графики в Excel с разрешением не менее 300 dpi. Формулы набираются в Word for Windows. Нумеруются только те формулы, на которые делаются ссылки в тексте. Порядковый номер ставится в круглых скобках справа от формулы. В имени файла указываются фамилия и инициалы автора. Все страницы рукописи имеют сплошную нумерацию. Порядковые номера страниц проставляются посередине верхнего поля страницы арабскими цифрами. Материал статьи должен быть ясно изложен и содержать: код УДК; название статьи; фамилия и инициалы автора(ов); ученая степень/звание автора(ов); название организации, в которой выполнена работа (с полным почтовым адресом); адрес электронной почты; аннотация; ключевые слова; текст статьи (введение, методы исследования, результаты исследования и их обсуждение, заключение); список литературы; метаданные на английском языке в том же порядке, как и в варианте на русском языке.

**Аннотация включает:** предмет, цель работы; метод или методологию проведения работы; результаты; область применения результатов; выводы. Сведения, содержащиеся в заглавии статьи, не должны повторяться в тексте аннотации. Объем аннотации от 250 до 500 слов.

**Ключевые слова** (до 10 слов) — это слова из текста, по которым может вестись оценка и поиск статьи. В качестве ключевых слов могут использоваться как слова, так и словосочетания.

**Список литературы** оформляется согласно требованиям ГОСТ 7.0.5–2008, составляется в алфавитном порядке (сначала отечественные, затем зарубежные авторы). Библиографические ссылки в тексте статьи на номер литературного источника делаются в квадратных скобках, номер указывает на источник в списке литературы. В статье рекомендуется использовать 10–15 источников (для научного обзора – более 50), в том числе 30 % из которых иностранные.

*Более подробная информация размещена на сайте <http://lesnojzhurnal.ru>*

НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ  
БИБЛИОТЕКА  
**eLIBRARY.RU**

издательский  
дом  
  
**ЛАНЬ®** [www.e.lanbook.com](http://www.e.lanbook.com)  
электронно - библиотечная система

НАУЧНАЯ  
БИБЛИОТЕКА  
**cafy**

**CYBERLENINKA**

**EBSCO**

**J-Gate**

 **AGRIS**

 **ULRICHSWEB™**  
GLOBAL SERIALS DIRECTORY



Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Всероссийский институт научной и технической информации Российской академии наук  
**ВИНИТИ РАН**

 **CASSI™**  
A CAS SOLUTION

ISSN 0536-1036

DOI: 10.17238/issn0536-1036

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ 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

3/357

2017

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

## **РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:**

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

## **ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:**

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

## **ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА:**

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

---

ISSN 0536-1036

DOI: 10.17238/issn0536-1036

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF THE RUSSIAN FEDERATION

---

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

BULLETIN  
OF HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTIONS

---

# Lesnoy Zhurnal

(Forestry journal)

**Scientific peer-reviewed journal**

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

3/357

2017

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

### **EDITORIAL STAFF:**

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

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

**Besschetnov V.P.**, Doctor of Biology, Prof. (Russia, Nizhny Novgorod)  
**Bogdanovich N.I.**, Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Arkhangelsk)  
**Van Heiningen A.**, PhD, Prof. (USA, Orono)  
**Voronin A.V.**, Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Petrozavodsk)  
**Kamusin A.A.**, Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Moscow)  
**Kishchenko I.T.**, Doctor of Biology, Prof. (Russia, Petrozavodsk)  
**Kozhukhov N.I.**, Doctor of Economics, Prof., Member of the Russian Academy of Sciences (Russia, Moscow)  
**Kurov V.S.**, Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Saint Petersburg)  
**Malygin V.I.**, Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Severodvinsk)  
**Matveeva R.N.**, Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Krasnoyarsk)  
**Merzlenko M.D.**, Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Moscow)  
**Moiseev N.A.**, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Member of the Russian Academy of Sciences (Russia, Moscow)  
**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)  
**Usol'tsev V.A.**, Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Yekaterinburg)  
**Khakimova F.Kh.**, Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Perm)  
**Holuša O.**, PhD, Prof. (Czech Republic, Brno)  
**Chernaya N.V.**, Doctor of Engineering, Prof. (Belarus, Minsk)  
**Chernykh V.L.**, Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Yoshkar-Ola)  
**Shirnin Yu.A.**, Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Yoshkar-Ola)  
**Shtukin S.S.**, Doctor of Agriculture, Prof. (Belarus, Minsk)  
**Engelmann H.-D.**, Doctor of Engineering, Prof. (Germany, Emden)

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

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

---



СОДЕРЖАНИЕ

*ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО*

<i>Н.А. Моисеев.</i> Лесоустройство: прошлое, настоящее и будущее.....	9
<i>М.Д. Мерзленко.</i> Актуальные аспекты искусственного лесовосстановления.....	22
<i>И.Т. Кищенко.</i> Сезонный рост и развитие <i>Juniperus communis</i> L. в таежной зоне	31
<i>В.М. Ивонин, И.В. Воскобойникова.</i> Обоснование допустимых рекреационных нагрузок в лесах Западного Кавказа.....	40
<i>А.И. Соколов, А.Н. Пеккоев, В.А. Харитонов.</i> Последствие 30-летнего ежегодного применения фосфорных удобрений на рост культур сосны по диаметру и качество древесины. Сообщение II.....	49
<i>Ю.Ф. Арефьев, М.М. Мамедов.</i> Прогноз и контроль патогенеза в лесных экосистемах.....	61
<i>В.П. Бобринев, Л.Н. Пак, Е.А. Баницикова.</i> Агротехника выращивания сеянцев ели сибирской в Забайкальском крае.....	70
<i>Н.Р. Сунгурова, Н.А. Бабич, Р.В. Сунгуров, В.К. Любов, А.Н. Попов.</i> Энергетический потенциал культур сосны и ели.....	78
<i>З.Н. Маркина.</i> Лесорастительные свойства почв и их влияние на рост сосновых насаждений в условиях радиоактивного загрязнения в Брянской области...	85
<i>В.Н. Коновалов, Л.В. Зарубина.</i> Влияние хлорсодержащих удобрений на метаболизм ели и сосны в северотаежных фитоценозах.....	100

*ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ*

<i>Ю.А. Макарова, А.Ю. Мануковский.</i> Использование геосинтетических материалов для защиты откосов земляного полотна лесовозной автомобильной дороги в условиях подтоплений.....	114
<i>С.Н. Орловский, А.И. Карнаухов.</i> Обоснование технологии применения и компоновки агрегата для понижения пней.....	123

*МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ*

<i>А.М. Буглаев, М.П. Бокачева, В.В. Сиваков.</i> Исследование возможности снижения вибрации деревообрабатывающего оборудования.....	132
<i>А.А. Лукаш, Н.П. Лукутцова.</i> Дифференцирование способов переработки древесины с ядровой гнилью.....	143

*ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ*

- В.И. Врублевская, В.О. Матусевич, В.В. Кузнецова.* Обоснование механизма взаимодействия компонентов древесины с влагой..... 152
- А.И. Бадюгина, С.И. Третьяков, Н.А. Кутакова, Е.Н. Коптелова.* Исследование кинетических закономерностей процесса СВЧ-экстракции луба в сравнении с березовой корой..... 164

*ЮБИЛЕИ*

- В.И. Мелехов, Н.А. Бабич, Н.П. Братилова.* Матвеева Римма Никитична – ученый-селекционер..... 176
- В.В. Пахучий, А.А. Селиванов, Н.А. Дружинин.* Юбилей профессора Бориса Васильевича Бабилова..... 179
- 
-



CONTENTS

FORESTRY

<i>N.A. Moiseev.</i> Forest Management: Past, Present and Future.....	9
<i>M.D. Merzlenko.</i> Relevant Aspects of Artificial Reforestation.....	22
<i>I.T. Kishchenko.</i> Seasonal Growth and Development of <i>Juniperus communis</i> L. in the Taiga Zone.....	31
<i>V.M. Ivonin, I.V. Voskoboynikova.</i> Substantiation of Allowable Recreational Loadings in the Forests of the Western Caucasus.....	40
<i>A.I. Sokolov, A.N. Pekkoev, V.A. Kharitonov.</i> The Aftereffect of 30-Year-Long Annual Phosphorous Fertilizers Application on the Pine Diameter Growth and Timber Quality. Report II.....	49
<i>Yu.F. Arefev, M.M. Mamedov.</i> Prediction and Control of Pathogenesis in Forest Ecosystems.....	61
<i>V.P. Bobrinev, L.N. Pak, E.A. Banshchikova.</i> Agricultural Technology of Cultivation of Siberian Spruce Seedlings in the Trans-Baikal Territory.....	70
<i>N.R. Sungurova, N.A. Babich, R.V. Sungurov, V.K. Lyubov, A.N. Popov.</i> Energy Potential of Pine and Spruce Cultures.....	78
<i>Z.N. Markina.</i> Forest Soil Characteristics and Their Impact on the Growth of Pine Plantations Under Radioactive Contamination in the Bryansk Region.....	85
<i>V.N. Konovalov, L.V. Zarubina.</i> The Influence of Chlorine-Containing Fertilizers on Metabolism of Spruce and Pine in the North Taiga Plant Communities.....	100

WOOD EXPLOITATION

<i>Yu.A. Makarova, A.Yu. Manukovskiy.</i> Geosynthetics for Slope Protection of the Truck Haul Road Subgrade Under Conditions of Underflooding.....	114
<i>S.N. Orlovskiy, A.I. Karnaukhov.</i> Application and Configuration Technology of the Stump Lowering Device.....	123

MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOOD SCIENCE

<i>A.M. Buglaev, M.P. Bokacheva, V.V. Sivakov.</i> Study into the Feasibility of Reducing Woodworking Equipment Vibration.....	132
<i>A.A. Lukash, N.P. Lukutsova.</i> Differentiation of Processing Methods of Pumped Wood.....	143

*CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD*

- V.I. Vrublevskaya, V.O. Matusevich, V.V. Kuznetsova.* Substantiation of the Interaction Mechanism of Wood Components and Water..... 152
- A.I. Badogina, S.I. Tret'yakov, N.A. Kutakova, E.N. Koptelova.* The Comparison of Kinetics of Microwave-Assisted Extraction of Bast and Birch Bark..... 164

*JUBILEES*

- V.I. Melekhov, N.A. Babich, N.P. Bratilova.* Rimma N. Matveeva – a Scientist and a Plant Selection Breeder..... 176
- V.V. Pakhuchiy, A.A. Selivanov, N.A. Druzhinin.* Anniversary of Professor Boris V. Babikov..... 179
- 
-



## ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 630\*61

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.9

### ЛЕСОУСТРОЙСТВО: ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ

*Н.А. Моисеев, акад. РАН, гл. науч. сотр.*

Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства, ул. Институтская, д. 15, г. Пушкино, Московская обл., Россия, 141202;  
e-mail: forestvniilm@yandex.ru

В статье рассматриваются основные положения лесоустройства с учетом истории его развития как в России, так и в других странах, в том числе в Германии, где оно первоначально зародилось. Особое внимание уделяется функциональному назначению, содержанию, методологии стратегического планирования в рамках лесоустройства и его связи с принятым в 2014 г. Правительством Российской Федерации законом «О стратегическом планировании в Российской Федерации» № 172-ФЗ. Последним Лесным кодексом Российской Федерации (2006 г.) лесоустройство было упразднено, что негативно отразилось не только на лесоуправлении, но и на состоянии лесного сектора экономики. При этом были искажены и основные понятия, утвердившиеся ранее в лесной науке и практике. В статье последовательно рассматриваются ключевые понятия, лежащие в основе лесоуправления, и его специфика, предопределяющая истоки возникновения лесоустройства; двухуровневый характер стратегического лесоустроительного планирования; его методология; другие функции лесоустройства, включая учет лесов, оценку прошлого хозяйства, организацию и расчет непрерывного неистощительного пользования лесом; экономическое обоснование лесных программ, формирующихся при лесоустройстве на уровнях субъекта Российской Федерации и входящих в него лесничеств; механизм их реализации; рекомендации по совершенствованию лесоуправления и контроль за ним. Изложенные концептуальные положения могут быть использованы при разработке новой лесоустроительной инструкции.

*Ключевые слова:* лес, лесные ресурсы и полезности леса, лесное хозяйство, лесоуправление, лесоустройство, непрерывное неистощительное пользование лесом, устойчивое пользование, многоресурсное управление лесами.

Лесоустройство имеет особую значимость не только для управления лесами, но и для устойчивого развития отраслей всего лесного сектора, который должен бы быть одним из приоритетных локомотивов развития экономики России, но, к сожалению, пока так и не стал им.

---

*Для цитирования:* Моисеев Н.А. Лесоустройство: прошлое, настоящее и будущее // Лесн. журн. 2017. № 3. С. 9–21. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.9

Признанный лидер в области лесоустройства, лесоправления и лесной экономики проф. М.М. Орлов определял лесоустройство как «важнейший инструмент лесоправления», без которого оно «слепо» [11].

Последним Лесным кодексом Российской Федерации (РФ) (2006 г.) [5] лесоустройство было упразднено, что обернулось тяжелыми отрицательными последствиями не только для лесоправления, но и для всего лесного сектора экономики России.

В связи с отмеченной ситуацией весьма актуальна задача восстановления лесоустройства с учетом современных требований, включая все положительное, что нарастающим итогом было накоплено как в отечественной, так и в зарубежной практике. Чтобы логично подойти к освещению решения поставленной задачи, целесообразно рассмотреть:

ключевые понятия, подводящие к логике появления лесоустройства в мировой лесной практике;

историю развития лесоустройства, в том числе причины его подъема и падения, особенно в России;

роль лесоустройства в лесоправлении, его назначение и содержание;

методологию развития лесоустройства на разных уровнях управления;

ключевые проблемы развития лесоустройства в России.

К числу ключевых понятий, которые выработаны историей развития лесоправления, относятся сами леса в лесоводственном, экономическом и правовом отношениях; ресурсы и полезности леса; лесное хозяйство; лесоправление и само лесоустройство, как важнейший инструмент лесоправления.

Об этих понятиях надо говорить, словно о незаменимой азбуке, ибо в последнем Лесном кодексе РФ [5] они искажены, что затрудняет взаимопонимание между субъектами лесных отношений и выработку государственной лесной политики.

Сам лес проф. Г.Ф. Морозовым, основателем учения о лесе, в лесоводственном смысле рассматривается как биогеоценоз, т. е. как сложное общежитие разнообразных организмов, объединенных общностью условий жизни, устойчивость которых обеспечивается в случае «соответствия состава, формы и других элементов насаждения условиям местопроизрастания», подчиненным «внешним условиям почвы и климата» [9]. Однако, по его мнению, для организации постоянного пользования или непрерывного неистощительного пользования лесом (ННПЛ) требуется определенная совокупность насаждений разного возраста, «между которыми должна быть установлена определенная хозяйственная связь».

Именно в таком расширенном понимании лес, будучи объектом управления, в экономическом смысле является основным и незаменимым средством производства в лесном хозяйстве для получения ресурсов и полезностей леса в качестве продуктов труда.

В правовом отношении лес, как основное средство производства, был прописан в Лесном кодексе РФ, принятом в 1997 г. и действовавшем до 2007 г. [4],

а в Гражданском кодексе (до введения в 2006 г. Лесного кодекса РФ) относился к недвижимому имуществу, т. е. к объектам, которые прочно «связаны с землей» и «перемещение которых без несоразмерного ущерба их назначению невозможно» [2, ст. 130].

Составители Лесного кодекса 2006 г. заменой недвижимого имущества на движимое без права регистрации по отношению к лесам преследовали задачу в интересах монополий облегчить не только замену функционального назначения лесов, но и их вывод из гослесфонда под другие виды землепользования, в том числе для «самозахватов», которые приобрели широкий масштаб, особенно вокруг мегаполисов.

С понятием леса как средства производства нельзя смешивать понятия ресурсов и полезностей леса, которые, будучи продуктами труда в лесном хозяйстве, одновременно являются и целями долгосрочного процесса лесовыращивания. К ресурсам леса относятся древесные, кормовые, пищевые, лекарственные, водные и иные, к полезностям – водоохранные, водорегулирующие, противоэрозионные, средозащитные, рекреационные.

Ресурсы разделяются на рыночные и нерыночные, или общественные блага, т. е. служащие всему обществу и не подлежащие купле-продаже.

Общей закономерностью являются опережающие темпы роста потребностей в общественных благах по сравнению с рыночными ресурсами, что предопределяет расширяющийся масштаб перехода к многоцелевому использованию лесов и многоресурсному лесопроизводству, вначале для защитных лесов, а затем и для ныне эксплуатационных. При этом усложняется процесс лесопроизводства и расширяются масштабы контроля и соучастия всего общества в лесопроизводстве.

Лесное хозяйство в понятийном отношении является отраслью материального производства вышеперечисленных ресурсов и полезностей леса, одновременно функционально представляя средство управления лесами на практике посредством хозяйственных воздействий через планируемые мероприятия и формируя леса определенной структуры для получения соответствующих спросу ресурсов и полезностей леса.

Однако лесное хозяйство как отрасль материального производства даже не упоминается в последнем Лесном кодексе. На практике из-за непродуманных реформ оно потеряло свою самостоятельную роль. Имеется в виду охват всего круга мероприятий по использованию и воспроизводству перечисленных выше ресурсов и полезностей лесов в целях повышения их доходности с мотивацией перехода на самофинансирование и интенсификацию лесного хозяйства, что вполне возможно организовать, учитывая прошлый отечественный и нынешний зарубежный опыт.

*Лесопроизводство.* Проблема управления во всех сферах жизнеобеспечения как общества, так и человечества в целом имеет первостепенное значение среди всех других проблем, ибо системный кризис, который объясняют кризисом экономики, на самом деле является кризисом управления [3]. Науку в области

управления преждевременно считать сформировавшейся. Исследователи пока называют ее синтезом науки, искусства и опыта [6]. Лесоуправление не является исключением. Проф. М.М. Орлов отмечал, что «из всех отраслей знания лесоуправление является наименее разработанной» [11].

Для перехода к обсуждаемому предмету – лесоустройству, следует отметить главную специфику лесоуправления – беспрецедентно длительный период лесовыращивания, измеряемый для условий умеренного климата десятками и даже сотнями лет.

Долгосрочная специфика лесовыращивания влияет на организацию, экономику и лесное законодательство, обязывая первостепенное внимание уделять (более чем в других отраслях) долгосрочному стратегическому планированию, чтобы принимать заблаговременные, упреждающие меры по балансированию спроса и предложения на непрерывно расширяющийся ассортимент ресурсов и полезностей леса.

*Лесоустройство.* Самой практикой было вызвано к жизни требование организовать неистощительное и даже расширяющееся во времени (при растущем спросе) пользование ресурсами леса с учетом сроков (оборотов рубки), темпов и масштабов их воспроизводства.

Лесоустройство зародилось исходя из требований ННПЛ и являлось гарантом его исполнения. Раньше всего оно и появилось там, где свodka лесов и их истощение приобрели опасные масштабы, особенно в странах с большим удельным весом частновладельческих лесов.

Прародиной лесоустройства стала Германия, благодаря трудам его основателей Георга Людвиг Гартига (1764–1837 гг.) и Генриха Котты (1763–1844 гг.). Первый в основу лесоустройства положил массово-периодный метод, второй – площадно-периодный метод [8]. Оба метода решали задачу обеспечения ННПЛ на протяжении всего оборота рубки за счет равномерного распределения насаждений по классам возраста. В основу такого подхода была положена теория нормального леса. При этом возраст спелости определялся в том возрасте, в котором среднегодовой чистый доход, или лесная рента, достигал максимума.

Но этот пункт явился камнем преткновения при разработке концепции лесоустройства применительно к мелким частновладельческим лесам, которые преобладали на ранней стадии развития капитализма. Они и сегодня еще доминируют в европейских странах, а также в США. При такой площади (в среднем около 30...50 га) практически нереально организовать непрерывное равномерное пользование в течение всего оборота рубки. Поэтому ограничиваются обычно выделом (в среднем около 30...50 га) с ожиданием следующего спелого древостоя через оборот рубки. Но в этом случае за критерий определения возраста спелости уже нельзя брать ожидаемый чистый доход (ЧД), ибо он не сопоставим во времени с затратами на лесовыращивание и требует дисконтирования с учетом процентной ставки:

$$b = 1/(1 + i)^t,$$

где  $b$  – коэффициент дисконтирования;

$i$  – процентная ставка;

$t$  – расчетный период.

Тогда критерием становится чистый дисконтированный доход, или земельная рента:

$$\text{ЧДД} = \text{ЧД} \times b.$$

На основе земельной ренты Пресслер (1815–1886 гг.) обосновал учение о финансовой спелости, используя известную формулу Фаустмана по земельной ренте [16], и опубликовал его в 1865 г. Юдейх, директор Тарандской лесной академии и ученик Пресслера, положил его в основу своего учебника по лесоустройству [14], выдержавшего 8 изданий (на русский язык он был переведен А.Ф. Рудским в 1877 г.). Это повлияло на другие публикации по лесной экономике, авторы которых в качестве главного критерия экономической оценки лесов использовали не лесную, а земельную ренту.

Таким образом, в информационном поле появились принципиально разные учебники по лесной экономике, не имеющие ничего общего между собой. Не зная истории вопроса, авторы щеголяли термином «финансовая спелость» как последним словом в зарубежной лесной экономике.

Ошибкой Юдейха явилось то, что на финансовую спелость он перевел и классическое лесоустройство своих предшественников, Гартига и Котты, распространив ее и на модель ННПЛ для государственных и крупных частных владений, т. е. там, где этого и не требовалось. Такой его шаг на практике обернулся драмой для лесов самой Германии и 150-летним противостоянием сторонников лесной и земельной рент, вызвал яростную борьбу против учения о финансовой спелости и ликвидацию ее руководящей роли на практике, что привело к тяжелым негативным последствиям. Борьбу эту возглавил проф. Шпайдел и его сторонники [15,18,19].

В чем причина злополучного «вывиха» в теории и практике становления лесоустройства в самой Германии и почему случилась эта драма?

Дело в том, что слабым местом классического лесоустройства являлась сама теория нормального леса, требующая обязательного стремления к равномерному распределению площади насаждений, которая не позволяла избежать жертв при выравнивании. В поисках выхода из сложившейся ситуации Юдейх использовал финансовую спелость как критерий для экономической оценки не всей совокупности лесных участков, являющихся объектом лесоустройства, а лишь отдельных из них в качестве выдела с позиции голой земли, сопоставляя эффективность его применения под разными видами землепользования (лес, пашня под сельскохозяйственными культурами, пастбище и др.). При этом он как будто забывал, что из-за долгосрочной специфики лесовыращивание не конкурентоспособно и проигрывает всем остальным, имеющим короткий срок окупаемости.

К тому же лесное хозяйство вообще не выдерживает высоких процентных ставок (даже в пределах 5...10 %), когда земельная рента может даже иметь отрицательное значение.

Финансовая спелость назначается в том возрасте, в котором ЧДД достигает максимума, что возможно при переводе высокоствольных дубрав в низкоствольные мелкотоварные древостои или замене их на быстрорастущие хвойные монокультуры, которые потом оказываются экологически неустойчивыми к вредителям и болезням, ветровалам, промышленным эмиссиям и пожарам при резком падении биоразнообразия, с чем лесопользователи столкнулись потом и что вызвало широкую волну общественного протеста.

Частное лесовладение в средней и южной частях России, особенно в черноземной житнице, также обернулось катастрофой: в 3 раза сократилась лесистость, высокоствольные дубравы были переведены в мелкотоварные древостои, эрозия и учащающиеся засухи привели к небывалому за всю историю России голоду в 1890-х гг. С преодоением последствий этого были связаны экспедиция В.В. Докучаева, а в советский период – широкомасштабное защитное лесоразведение, которое потом было «прикрыто» Н.С. Хрущевым.

Автор этих строк исправил слабое звено классического лесоустройства, предложив в своей докторской диссертации (1974–1976 гг.) взамен теории нормального леса принципиально новую теорию воспроизводства лесных ресурсов, используя модели простого и расширенного воспроизводства лесных ресурсов при формировании стратегических лесных программ на разных уровнях лесопользования. Новая теория была изложена нами в учебниках по экономике лесного хозяйства [7] и лесоустройству [10] и одобрена немецкими учеными [17], за что автор в 1986 г. был удостоен звания почетного доктора лесохозяйственных наук Дрезденского технического университета и медали Генриха Котты – основателя лесоустройства.

Как отнеслись к финансовой спелости в России? Проф. А.Ф. Рудзкий, основатель отечественного лесоустройства, предостерегал наших лесопользователей от ее использования, называя это «бумажной игрой», применение которой в российских условиях привело бы к выращиванию только «жердей и дров» и тому, что доски и строевой лес пришлось бы завозить из Америки [13].

В России лесоустройство зародилось в 1843–1845 гг. при императоре Николае I. Что вынудило обратиться тогда к лесоустройству?

К лесоустройству обращаются обычно, когда лесные дела доведены «до ручки». Так случилось и в России. После кончины Петра I (1672–1725 гг.) его супруга Екатерина I, чтобы упрочить свое положение, указом от 30.12.1726 г. передала государственные леса в управление воеводам. Вредные последствия этого акта, по свидетельству проф. Ф.Х. Арнольда, автора первой лесопользовательской инструкции, «не замедлили сказаться» [1].

Екатерина II, издав в 1762 г. указ о вольности дворянства, открыла дорогу безграничному произволу в распоряжении государственными лесами [1].

Павел I хотел относиться к лесам, как его великий прадед, и даже в 1798 г. создал Лесной департамент, который после его свержения был упразднен.

Окружение Николая I настаивало на острой необходимости вернуться к централизации государственного управления лесами для ликвидации творящегося беспредела. Именно с этой целью и был вновь создан в составе Министерства госимуществ самостоятельный Лесной департамент. Выдающую роль в его упрочении сыграл сам министр, граф П.Д. Киселев. Именно ему обязано лесоустройство возрождением как государственной специализированной организации, подчиненной непосредственно Лесному департаменту [9].

Невозможно в рамках данной статьи отразить все детали и перипетии развития отечественного лесоустройства. Рассмотрим лишь принципиальные моменты.

Отметим, что о поступательном его развитии можно судить по лесоустроительным инструкциям, разработанным профессорами Ф.К. Арнольдом (1845 г.), А.Ф. Рудским (1888 г.), М.М. Орловым (1911 и 1914 гг.), а также по обобщенной инструкции 1926 г. Между этими инструкциями принимались «упрощенные инструкции и правила», при которых лесоустройство теряло свое централизованное назначение и деградировало, поскольку царское правительство вынуждено было переключиться на другие неотложные проблемы, связанные с отменой крепостного права (1861 г.) и его последствиями [8].

В советский период (30-е гг. XX в.) правительству пришлось отойти от принципа неистощительного лесопользования в связи со срочной необходимостью укрепления обороноспособности страны, форсирования индустриализации и коллективизации. Для новых заводов стране требовалась валюта, одним из важных источников которой был лесозэкспорт.

Лишь в 1947 г., после завершения Великой Отечественной войны, были созданы первое за всю историю России самостоятельное Министерство лесного хозяйства СССР и объединение «Леспромхоз», масштабы деятельности которого в области лесоустройства достигали немислимого для дореволюционной и постсоветской России объема – 35...50 млн га/год. Заслуживающими внимания были лесоустроительные инструкции, разработанные в 1951 и 1986 гг. В последней из них был принят на вооружение принцип ННПЛ. В соответствии с основами лесного законодательства СССР и союзных республик (1977 г.) этот принцип распространялся на все леса страны без исключения.

Постсоветский период в истории лесоустройства был связан с кризисом в лесной отрасли, деградацией и упразднением лесоустройства Лесным кодексом РФ, принятым в декабре 2006 г. в связи со стремлением его составителя в лице министра экономического развития господина Г.О. Грефа и его подчиненных законодательно в интересах монополий обеспечить тотальную приватизацию лесов через переходный этап долгосрочной аренды крупным бизнесом. Из-за широкого возмущения общественности президент России снял «вывеску» о готовящейся приватизации лесов, но конструкция кодекса

осталась прежней, готовой к принятию соответствующего акта. Об этом можно судить по следующим нововведениям: замена разрешительного порядка на заявительный, свойственный для частных лесовладений; перевод лесов из недвижимого в движимое имущество; самоустранение государства от стоимостной оценки по рыночным ценам древостоев, отводимых арендаторам для рубки; умаление роли государства в управлении федеральными лесами с передачей данных полномочий в 2005 г. субъектам РФ.

При этом произошла подмена понятий, включая и сохранение названия инструкций как лесоустроительных, утвержденных приказами Министерства природных ресурсов № 377 от 18.06.2007 г. и Рослесхоза № 516 от 12.12.2011 г., которые никакого отношения к лесоустройству не имеют, а ограничиваются лишь «лесоинвентаризацией».

Уточним главные положения лесоустройства, аккумулированные в процессе его развития в российских реалиях.

Беспрецедентно длительный период лесовыращивания, как главная специфика лесопромышленного управления, предопределил двухуровневое стратегическое лесное планирование при лесоустройстве: первый получил название «общий лесной план», второй – «частный лесной план». В первом обосновываются стратегические цели развития в рамках оборота рубки, во втором – задачи для реализации этих целей на ближайшее десятилетие в виде сбалансированного плана мероприятий использования и воспроизводства лесов в рамках лесничества.

Первый рассматривается в широких пространственно-временных рамках, обычно в рамках субъекта РФ, второй – в рамках входящих в него лесничеств. Но для согласования этих планов с окружающей их средой крупных экономических регионов, где формируется спрос и предложение с ориентацией на определенный круг потребителей внутреннего и внешнего рынков, требуется увязывать названные при лесоустройстве планы и с третьим уровнем, где вырабатывается стратегия развития всего лесного сектора экономики в рамках федеральных округов и формируются крупные приоритетные инвестиционные проекты. Этот межрегиональный уровень стратегического планирования наряду с другими (федеральным, региональным и муниципальным) упоминается теперь и в федеральном законе № 172 «О стратегическом планировании в Российской Федерации» (принят в июне 2014 г.).

Для увязки лесоустроительного планирования с третьим уровнем еще в дореволюционный период к лесоустроительным инструкциям (1897, 1911, 1914 и 1926 гг.) добавлялись «лесоэкономические обследования» для крупных регионов Европейского Севера, Сибири и Дальнего Востока [8]. В советское время с той же целью разрабатывались генеральные схемы развития лесного хозяйства и лесной промышленности, на основе которых, например, формировались крупные стройки (Братский, Усть-Илимский, Сыктывкарский лесопромышленные комплексы и др.).

К трехуровневой структуре управления в перспективе должно быть адаптировано и прикладное значение лесоустройства. При этом следует иметь в виду, что на уровне субъекта РФ лесные планы должны охватывать развитие

всего комплекса лесных отраслей, в составе которого лесоустройство обеспечивает блок организации и планирования использования и воспроизводства лесов, увязанный с общей стратегией развития лесного сектора того макрорегиона, в который входит данный субъект РФ. Именно на уровне последнего решаются вопросы районирования, трансформации лесных земель, целевого назначения лесов, зонирования по экономическим формам лесопользования, выделения хозчастей по тяготению к рынкам сбыта, образования хозяйственных секций и применительно к ним обоснования региональных систем лесохозяйственных мероприятий и основных направлений интенсификации лесного хозяйства, возраста спелости и оборотов рубок.

На местном уровне при лесоустройстве решаются вопросы оценки лесов и хозяйства в них на основе повыведельной таксации лесов; анализа прошлого хозяйства и внесения необходимых коррективов; разработки программы ведения лесного хозяйства на зонально-типологической основе с учетом целевого назначения лесов в рамках хозчастей, представляющих лесные массивы, закрепленные за разными видами лесопользователей (при разных сценариях, принятых в общем плане).

На основе программ ведения лесного хозяйства производится расчет размера неистощительного пользования лесом с определением его экономически доступной части. В рамках последней определяются места рубок на ближайшее 10-летие, для первого 5-летия дается стоимостная оценка будущих лесосек в рыночных ценах, определяются расходы и доходы по программе мероприятий, назначаемой в плане лесничества, и дается оценка ее эффективности.

Лесное планирование при лесоустройстве обязательно должно иметь экономическое обоснование как отдельных мероприятий, так и программы в целом. Решается эта задача при помощи основополагающего критерия в виде лесной ренты ( $P_{л}$ ), которая представляет остаточную стоимость реализуемых на рынках сбыта лесных ресурсов ( $\Pi_{рын}$ ) за минусом затрат на их заготовку ( $C_3$ ), доставку до рынков сбыта ( $C_{тр}$ ) и на лесовыращивание ( $C_в$ ), а также нормативную прибыль всех участников данного общего процесса. При этом лесная рента представляет сверхприбыль, не заработанную предпринимателем и зависящую от таких рентообразующих факторов, как качество ресурсов, их удаленность от рынка сбыта, условия лесозаготовки и платежеспособность потребителя.

Представим общую формулу для определения лесной ренты в следующем виде:

$$\text{ЧД}(P_{л}) = \Pi_{рын} - [(C_3 + \Pi_3) + (C_{тр} + \Pi_{тр}) + (C_в + \Pi_в)].$$

В этой формуле имеются два вида дохода: доход предпринимателей в виде нормативной прибыли ( $\Pi_3 + \Pi_{тр} + \Pi_в$ ) и доход владельца лесов (в данном случае государства) в виде лесной ренты.

Стартовая рыночная цена древесины на корню ( $\Pi_{корн}$ ) и представляет сумму лесной ренты ( $P_{л}$ ), себестоимость выращивания ресурсов ( $C_в$ ) и нормативную прибыль ( $\Pi_в$ ) того подрядчика, который будет осуществлять выращивание:

$$\Pi_{корн} = P_{л} + C_в + \Pi_в.$$

Рентабельность того или иного мероприятия и программы, в целом представляющей план по лесничеству, определяется на основе соотношения лесной ренты и затрат, обусловивших ее.

Однако для реализации планируемых мероприятий и лесного плана в целом важен механизм, обеспечивающий сбалансированность экономических интересов всех субъектов лесных отношений. Такой механизм формируется на основе рационального распределения по финансовым потокам доходной части между субъектами лесных отношений. При этом затраты на лесовыращивание в составе рыночной цены древесины на корню должны возвращаться тем субъектам, на которых возложены обязанности по ведению лесного хозяйства, в том числе арендатору, а также лесничествам, обязанным вести хозяйство на неарендованной лесной площади (например, силами нанимаемых лиц, допустим подрядчиков).

Сама же лесная рента должна законодательно распределяться между бюджетами всех уровней (допустим: 20 % – в местный, 40 % – в бюджет субъекта РФ, 40 % – в федеральный) на приоритетные мероприятия их программ. Например, субъекты РФ за этот счет могут субсидировать строительство лесных дорог, федерация может создавать резервный фонд для борьбы с пожарами, финансировать лесоустройство, науку и сферу образования.

Все это в свое время нами докладывалось на одном из лесных форумов, ежегодно проводимых в Вологде, и было положительно воспринято руководством Рослесхоза, представителями региональных правительств и даже арендаторами.

Учитывая, что успех возрождения лесоустройства зависит от отношения первых лиц государства, сошлюсь на фундаментальное выступление президента России В.В. Путина, которое имеет прямое отношение к этому вопросу. Рассматривая проблемы природопользования, он призывает «завершить подготовку нормативной базы для введения платы за пользование всеми видами природных ресурсов» и «при этом предусмотреть... переход в основном к рентным платежам» [12]. При этом в числе стратегических задач он рекомендует предусмотреть «углубление и совершенствование экономического механизма природопользования», а также «создание действенного механизма финансового обеспечения программ и мероприятий по воспроизводству и охране природных ресурсов». Президент признает, что «в начале рыночных реформ государство выпустило из рук стратегическое управление природно-ресурсным блоком. Это обернулось застоєм..., развалом... геологической отрасли» (заметим, что и лесного хозяйства). И тут же он добавляет, что «практика стран с развитой рыночной экономикой дает нам немало примеров эффективного государственного вмешательства в долговременные проекты освоения ресурсов» [12].

Приведенные положения целиком можно применить к практике лесопользования и лесного хозяйства, где давно требуется активное государственное вмешательство, включая законодательные инициативы по восстановлению лесоустройства и использованию рентных платежей.

В перспективе предусматривается восстановление всего цикла лесоустроительных работ, включая учет лесов, анализ прошлого лесного хозяйства, организацию и планирование использования и воспроизводства лесов в рамках субъекта РФ и входящих в него лесничеств, определение размера ННПЛ, в том числе ее экономически доступной части, оценку доходов, затрат и эффективности принимаемых программ.

Лесоустройство должно повторяться с периодичностью 10 лет и быть ограничено «зоной лесоустройства», где ведется активная хозяйственная деятельность. По прикидкам это займет 25...30 % лесопокрытой площади. На остальной площади, в «зоне лесоинвентаризации», можно ограничиться дистанционными методами учета лесов, используя многосторонний мониторинг.

Для реализации намеченных мер потребуется разработать лесоустроительную инструкцию и нормативно-правовые акты к ней, а также создать условия для трансформации ФГБУ «Рослесинфорг» в полноценную специализированную государственную организацию по лесоустройству с непосредственным подчинением федеральному органу управления лесами и необходимой для этой организации инфраструктурой, финансируемую за счет определенной доли рентных платежей, аккумулируемых в федеральном бюджете при новом порядке финансирования лесного хозяйства.

Однако решение поставленной задачи возможно только при заинтересованности и активных действиях руководства федерального органа управления лесами.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арнольд Ф.К. История лесоводства (репринт. изд. 1895 г.), М.: МГУЛ, 2004. 403 с.
2. Гражданский кодекс РФ. М.: Норма, 2001. 1076 с.
3. Кинг А., Шнайдер Б. Первая глобальная революция. Доклад Римского клуба. М.: Прогресс, 1991. 340 с.
4. Лесной кодекс РФ. М.: Юрид. лит., 1997. 95 с.
5. Лесной кодекс РФ: федер. закон № 200-ФЗ от 4 дек. 2006 г. М.: ИНЭКО, 2006. 48 с.
6. Мескон М., Альберт М., Хедоури Ф. Основы менеджмента / пер. с англ. М.: Дело, 1992. 701 с.
7. Моисеев Н.А. Экономика лесного хозяйства: учеб. пособие. М.: МГУЛ, 2012. 399 с.
8. Моисеев Н.А., Третьяков А.Г., Трейфельд Р.Ф. Лесоустройство в России: исторический анализ лесоустройства в России и концепция его возрождения в условиях рыночной экономики: моногр. М.: МГУЛ, 2014. 268 с.
9. Морозов Г.Ф. Учение о лесе. Избр. тр. в 3-х т. Т. I. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1994. 459 с.
10. Мурахтанов Е.С., Моисеев Н.А., Мороз П.Н., Столяров Д.П. Лесоустройство: учеб. для вузов. М.: Лесн. пром-сть, 1983. 344 с.
11. Орлов М.М. Лесопромышленное управление как исполнение лесоустроительного планирования. М.: Лесн. пром-сть, 2006. 479 с.

12. Путин В.В. Минерально-сырьевые ресурсы в стратегии развития российской экономики // Аналит. ежегодник «Россия в окружающем мире». М.: МНЭПУ, 2000. 326 с.
13. Рудзкий А.Ф. Руководство к устройству русских лесов. Изд. 2-е. СПб.: Изд. А.Ф. Девриен, 1893. 464 с.
14. Юдейх И.Ф. Лесоустройство. СПб.: Тип. Ретгера и Шнейдера, 1877. 500 с.
15. Plochmann R. Forest Policy Challenges in Formatting, Management Guidelines in Central Europe // XIX World Congress Proceedings. Division 4. Montreal, 1990. Pp. 150–158.
16. Pressler M.R. Das Gesetz der Stammbildung. Leipzig, 1865. 153 p.
17. Sozialistische Forstwirtschaft. 1986. Vol. 12. Pp. 359–360.
18. Spiedel G. Ansätze zur Forstlichen Betriebswirtschaftslehre 1949–1985 // Schriften des Instituts für Forsteinrichtung und Forstliche Betriebswirtschaft. Band 1. Freiburg, 1994. 239 p.
19. Spiedel G. Forstliche Betriebswirtschaftslehre. Hamburg, 1984. 226 p.

Поступила 13.02.17

UDC 630\*61

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.9

#### **Forest Management: Past, Present and Future**

*N.A. Moiseev, Member of the Russian Academy of Sciences, Chief Research Scientist*  
All-Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry,  
ul. Institutskaya, 15, Pushkino, Moscow region, 141202, Russian Federation;  
e-mail: forestvniilm@yandex.ru

The paper considers the basic provisions of the forest management system taking into account the history of its development in Russia and other countries, including Germany, where it originated. Special attention is paid to the functional purpose, content, methodology of strategic planning within the forest management and its relationship with the Federal Law no. 172-FZ "On Strategic Planning in the Russian Federation", adopted by the Government of the Russian Federation in 2014. The forest management was abolished by the last Forest Code of the Russian Federation (2006). This fact negatively affected not only the forest management, but also the state of the forestry sector of the economy. The basic concepts established earlier in the forest science and practice were also distorted. The paper considers the key concepts of forest management and its specificity predetermining the origins of the forest regulation; two-level nature of strategic forest management planning; its methodology; other functions of forest management, including forest inventory, assessment of the past economy, organization and calculation of continuous sustainable use of forests; economic justification of forest programs formed in forest management in the territorial entities of the Russian Federation and their forestries; mechanism for their implementation; recommendations for the improvement of forest management and control over it. The supplied conceptual provisions can be used in the development of a new forest management instruction.

*Keywords:* forest resource and usefulness, forestry, forest management, forest regulation, continuous sustainable use of forest, sustainable yield, multi-resource forest management.

---

*For citation:* Moiseev N.A. Forest Management: Past, Present and Future. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 3, pp. 9–21. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.9

REFERENCES

1. Arnol'd F.K. *Istoriya lesovodstva* [History of Forestry]. Moscow, 2004. 403 p.
2. *Grazhdanskiy kodeks RF* [Civil Code of the Russian Federation]. Moscow, 2001. 1076 p.
3. King A., Shnayder B. *Pervaya global'naya revolyutsiya. Doklad Rimskogo kluba* [The First Global Revolution. Report of the Club of Rome]. Moscow, 1991. 340 p.
4. *Lesnoy kodeks RF* [Forest Code of the Russian Federation]. Moscow, 1997. 95 p.
5. *Lesnoy kodeks RF: feder. zakon № 200-FZ ot 4 dek. 2006 g.* [Forest Code of the Russian Federation: Federal Act No. 200-FZ of 4 December 2006]. Moscow, 2006. 48 p.
6. Mescon M., Albert M., Khedouri F. *Management*. New York, 1988. 777 p.
7. Moiseev N.A. *Ekonomika lesnogo khozyaystva* [Economics of Forestry]. Moscow, 2012. 399 p.
8. Moiseev N.A., Tret'yakov A.G., Treyfel'd R.F. *Lesoustroystvo v Rossii: istoricheskiy analiz lesoustroystva v Rossii i kontseptsiya ego vozrozhdeniya v usloviyax rynochnoy ekonomiki* [Forest Management in Russia: a Historical Analysis of Forest Management in Russia and the Concept of Its Revival in the Market Economy Conditions]. Moscow, 2014. 268 p.
9. Morozov G.F. *Uchenie o lese. Izbr. tr. v 3-kh. T. I.* [Theory of Forest Management. Selectas in 3 Volumes. Vol. I]. Moscow, 1994. 459 p.
10. Murakhtanov E.S., Moiseev N.A., Moroz P.N., Stolyarov D.P. *Lesoustroystvo* [Forest Management]. Moscow, 1983. 344 p.
11. Orlov M.M. *Lesoupravlenie kak ispolnenie lesoustroitel'nogo planirovaniya* [Forest Management as the Implementation of the Forest Management Planning]. Moscow, 2006. 479 p.
12. Putin V.V. *Mineral'no-syr'evye resursy v strategii razvitiya rossiyskoy ekonomiki* [Mineral-Natural Resources in the Development of Russian Economy]. *Analit. ezhegodnik «Rossiya v okruzhayushchem mire»* [Analytical Book “State of Russia in the Surrounding World”]. Moscow, 2000. 326 p.
13. Rudzkiy A.F. *Rukovodstvo k ustroystvu russkikh lesov* [Guide to the Russian Forest Management]. Saint Petersburg, 1893. 464 p.
14. Yudeykh I.F. *Lesoustroystvo* [Forest Management]. Saint Petersburg, 1877. 500 p.
15. Plochmann R. *Forest Policy Challenges in Formatting, Management Guidelines in Central Europe. XIX World Congress Proc. Division 4*. Montreal, 1990, pp. 150–158.
16. Pressler M.R. *Das Gesetz der Stammbildung*. Leipzig, 1865. 153 p.
17. *Sozialistische Forstwirtschaft*, 1986, vol. 12, pp. 359–360.
18. Speidel G. *Aufsätze zur Forstlichen Betriebswirtschaftslehre 1949–1985. Schriften des Instituts für Forsteinrichtung und Forstliche Betriebswirtschaft. Band 1*. Freiburg, 1994. 239 p.
19. Speidel G. *Forstliche Betriebswirtschaftslehre*. Hamburg, 1984. 226 p.

Received on February 13, 2017

УДК 630\*232

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.22

## **АКТУАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ИСКУССТВЕННОГО ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ**

*М.Д. Мерзленко, д-р с.-х. наук, проф.*

Институт лесоведения РАН, ул. Советская, д. 21, с. Успенское, Московская обл., Россия, 143030; e-mail: md.merzlenko@mail.ru

Опыт искусственного лесовосстановления показал, что лесные культуры являются действенным приемом повышения продуктивности наших лесов. Проектирование, закладка и выращивание лесных культур должны базироваться на зонально-типологической основе. При этом тип лесных культур являет собой ядро методологии лесокультурного дела. На современном этапе стратегия и тактика в практике лесокультурного дела должны отражать диалектическую взаимосвязь между целевым заданием на создание лесных культур и его реализацией путем экологически обоснованных приемов формирования рукотворного леса. Улучшение эффективности и качества лесокультурных работ немислимо без осуществления политики стирания противоречий между биологической и технологической составляющей искусственного лесовосстановления на основе экологизации всего лесокультурного процесса. Лесокультурный процесс нельзя считать завершенным с переводом лесных культур в покрытые лесом земли. Создание (закладка) и формирование (выращивание) лесных культур – это длительный процесс, который можно считать завершенным только с назначением искусственного насаждения в рубку. Наука и практика искусственного лесовосстановления обладают обширным арсеналом для осуществления самых разнообразных форм рукотворных лесов по составу, ярусности и возрасту составляющих их компонентов.

*Ключевые слова:* искусственное лесовосстановление, тип лесных культур, смешанные лесокультуры, монокультуры, устойчивость насаждений.

Отечественный опыт искусственного лесовосстановления имеет более чем 300-летнюю историю. Классика лесокультурного дела утверждена в России именами К.Ф. Тюрмера [17] и А.П. Тольского [13]. Важный вклад в теорию и практику лесных культур внесли корифеи российской лесной науки М.К. Турский [14, 15] и Г.Ф. Морозов [3]. С 1902 г. «лесные культуры» существуют в качестве учебной дисциплины (выделена как часть лесоводственного учения из курса лесоводства), в середине XX в. они стали и научной специальностью.

Г.Ф. Морозову принадлежат пророческие слова: «Сколько бы ни говорили против лесных культур, этот метод создания леса не только сохранится

---

*Для цитирования:* Мерзленко М.Д. Актуальные аспекты искусственного лесовосстановления // Лесн. журн. 2017. № 3. С. 22–30. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.22

навсегда, но и будет захватывать все большие и большие районы, и в прежних районах будет применяться все чаще и чаще» [3]. Время подтвердило правоту этих слов. Лесные культуры стали действенным приемом повышения продуктивности наших лесов, о чем наглядно свидетельствуют многочисленные эталонные объекты (рис. 1, 2).



Рис. 1. Высокопроизводительные смешанные хвойные посадки К.Ф. Тюрмера (Московская область)



Рис. 2. Лесные культуры лиственницы европейской. Возраст 140 лет, запас 950 м<sup>3</sup>/га (Тверская область)

Искусственное лесовосстановление тесно связано с лесоводственными устоями и является аксиомой правильности ведения лесного хозяйства. Если, как говорил знаменитый немецкий лесовод Гейнрих Котта, «лесоводство есть дитя нужды в лесе», то искусственное лесовосстановление есть не что иное, как практическая реализация лесоводственного искусства в деле воспроизводства лесных ресурсов.

Согласно Г.Ф. Морозову [9], основной принцип лесоводства – сохранение биологической устойчивости насаждений. Необходимое условие для сохранения устойчивости – соответствие состава леса и формы насаждения наличным условиям климата и почвы. Поэтому проектирование, закладка и выращивание лесных культур должны базироваться на зонально-типологическом фундаменте (рис. 3), т. е. суть состоит в том, чтобы, исходя из природной среды, выращивать соответствующую ей форму целевого искусственного насаждения.

Особое значение надо придавать общей экологической ситуации на лесокультурных площадях и процессу выращивания (формирования) рукотворного леса. Это касается дифференцированной оценки осваиваемого ландшафта на предмет геоморфологии и геохимии, аллелопатическим свойствам компонентных пород для оценки их совместимости, а также оптимизации густоты в онтогенезе искусственного дендроценоза.

Повышение эффективности и качества лесокультурных работ немислимо без осуществления политики стирания противоречий между экологической и технологической составляющими лесовосстановления на основе экологизации всего лесокультурного процесса. Поэтому надо всегда учитывать примат биологии над техникой, ибо неудачи при искусственном лесовосстановлении случаются тогда, когда забывается канон главенства биологической системы над технической. Для лесных насаждений биогеоценотическая составляющая важнее экономической, ибо рыночная модель

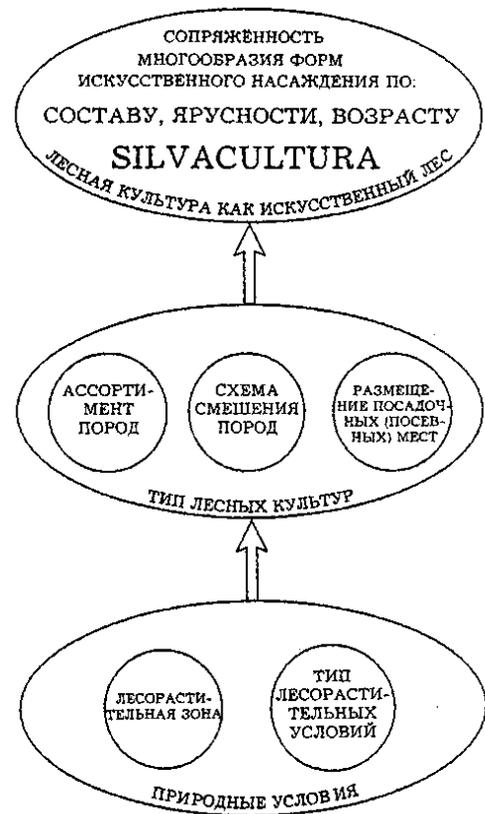


Рис. 3. Принципы формирования устойчивого рукотворного леса

экономического развития неадекватна законам природы и, следовательно, не отвечает идее устойчивого экономического развития без разрушения природной среды [10].

В практике искусственного лесовосстановления на современном этапе стратегия и тактика должны отражать диалектическую взаимосвязь между целевой программой создания рукотворного леса и приемами ее непосредственной реализации в конкретных зонально-типологических условиях [6]. Такая система позволяет максимально использовать экологическую емкость лесокультурных площадей и достигать итогового результата, отвечающего целевому направлению выращивания искусственного насаждения.

На этапе закладки лесных культур необходим высокий уровень агротехнического фона с унификацией параметров посадочного материала применительно к лесорастительным условиям лесокультурных площадей. Посадочный и посевной материал нужно подбирать на основе целевого использования определенных климатотипов. При этом селекционный отбор высокопродуктивных носителей генетической обусловленности позволяет лесоводам эффективно решать вопрос целевого воспроизводства лесосырьевых ресурсов. Как при проектировании, так и при закладке лесных культур лесокультурник фактически олицетворяет собой прикладного эколога, так как всегда и прежде всего должен иметь проекцию на местообитание, на сообщество [4]. Причем все приемы дальнейшего выращивания рукотворных лесов необходимо увязывать с фазами роста и развития лесных культур [7].

Важное значение при искусственном лесовосстановлении имеет густота посадки. Она зависит от вида культивируемой древесной породы и зонально-типологических условий. Лесохозяйственный смысл густоты заключается в том, что культуры, выращиваемые в режимах разной густоты первоначальной посадки, а затем и разной густоты стояния, достигают своей целевой функции и спелости в разные сроки. В целом же густота является действенным средством, ориентируемым на то или иное целевое направление хозяйства – на выращивание строевой древесины, ускоренное выращивание балансов, выполнение водоохраных или рекреационных функций и др.

Тип лесных культур как совокупность компонентных пород (главных, сопутствующих, кустарниковых), схем их смешения и размещения лесокультурных посадочных мест являет собой ядро в методологии лесокультурного дела (рис. 3). Его следует рассматривать в качестве модели проектируемого, наиболее перспективного, биологически сбалансированного культур-фитоценоза для определенных почвенно-климатических условий.

Типы лесных культур являются приоритетным достоянием отечественного лесокультурного дела. В практике искусственного лесовосстановления они были окончательно утверждены в 1939 г. Главлесоохраной при Совете народных комиссаров СССР. Прототипами типов лесных культур послужили в большинстве случаев наглядные примеры естественных высокопродуктив-

ных и устойчивых насаждений. Кроме того, они (типы культур) допускают создание искусственных насаждений с использованием широкого ассортимента апробированных лесокультурной практикой разнообразных древесных и кустарниковых пород, включая интродуценты. Типы лесных культур нельзя путать с типами леса, ибо лесная типология одинаково применима как к искусственным насаждениям, так и к естественным. Например, такой тип леса, как ельник-кисличник, свойственен и искусственному, и естественному лесу.

Один и тот же тип культур может быть выполнен с использованием совершенно различных технологий, поэтому тип культур – это, главным образом, «экологическое зеркало» будущего насаждения, а ставить последнее в зависимость от технических приемов его воплощения равносильно отнесению лесокультурных объектов к неживой природе. При проектировании типов смешанных лесных культур лесорастительные условия лесокультурных площадей должны оцениваться на предмет лесотипологического соответствия экологическим особенностям всех компонентов, т. е. главным, сопутствующим и кустарниковым породам. Грамотный и опытный лесовод-лесокulturник может создавать рукотворные леса, которые по своей природе и лесоводственному эффекту будут не только не хуже естественных, но даже и превосходить их. Это реально доказано длительной практикой лесокультурного дела и многократно подтверждено выдающимися лесоводами [2, 13, 16, 17 и др.].

Нередко не только экологами, но и некоторыми лесоводами утверждается, что создание чистых по составу одновозрастных посадок хвойных пород, т. е. монокультур, противоестественно. Это далеко не так, ибо в природе есть и одновозрастные леса из хвойных пород: например, боры, представленные сосняками зеленомошными и лишайниковыми; рамени, где на тяжелых суглинках произрастают ельники. Сама же природа содержит богатое разнообразие форм леса – от простых до сложных. Следует напомнить, что сведения об отрицательной роли монокультур (снижение почвенного плодородия, повреждаемость вредителями и болезнями) появились на основе тенденциозных публикаций защитников гипотетического естественного леса, а распространению таких взглядов способствовали концепции И. Бланкмейстера [19, 20]. Позже выяснилось, что примеры отрицательного влияния еловых древостоев на почву, как за рубежом, так и у нас в стране, не характерны и не могут быть рассмотрены как деградация почвы [1, 8]. Кроме того, искусственно создаваемый хвойный лес страдает от вредителей и болезней не больше естественных лесов [1, 2, 12], а ветроустойчивость чистых хвойных насаждений выше ветроустойчивости смешанных [1]. Лесокультурный опыт К.Ф. Тюрмера показал, что, если и создавать смешанные культуры, то это должны быть только хвойные искусственные насаждения из двух или нескольких хвойных пород.

Если же оперировать причиной гибели одновозрастных ельников от короеда-типографа, то непреложным фактом является следующее: усыханию подвержены не только еловые монокультуры, но и естественные ельники,

произрастающие как в таежной зоне, так и в заповедниках Восточно-Европейской равнины (например, в Беловежской пуще). Само же усыхание вызывается не по причине «короеда», а по стечению неблагоприятных абиотических факторов, в частности от периодически повторяющихся засух. Усыхание ельников – это вообще биологически закономерное явление. Усыхают, как правило, ельники старше 80 лет.

В мировой практике все большее значение приобретает интродукция хвойных пород [5]. Накопленный в нашей стране значительный опыт по созданию лесных культур из хвойных интродуцентов продемонстрировал широкие возможности этого лесоводственного приема. Введение интродуцентов необходимо осуществлять дифференцированно, исходя при этом из реального лесоводственного эффекта интродуцента в определенном физико-географическом районе. Например, многолетними исследованиями Института лесоведения РАН доказана перспективность создания в центре Русской равнины культур из лиственницы европейской (*Larix decidua* Mill. *Sudetica*; *Larix decidua* Mill. *Polonica*) и сосны веймутовой (*Pinus strobus* L.). Лиственница европейская способна не только формировать древостой с запасом 1000 м<sup>3</sup>/га и более, но и давать древесину с высокими физико-механическими свойствами, а также выполнять рекреационные функции [11, 18].

Как правило, лесные культуры создаются рядовой посадкой. Лесокультурные посадочные места фиксируются параметрами междурядья и шага посадки, которые должны сочетаться с оптимальным значением густоты посадки. Желательно, чтобы размещение лесокультурных посадочных мест было равномерным, чтобы в натуре иметь возможность максимально реализовать энергию роста древесной породы. В наибольшей степени этому способствует геометрическое размещение посадочных мест по углам равностороннего треугольника. С этой позиции необходима разработка лесопосадочной машины принципиально новой конструкции, рассчитанной на одновременную посадку двух рядов с десинхронной подачей сеянцев (саженцев).

Весь лесокультурный процесс следует рассматривать как совокупность последовательных лесокультурных циклов, начиная от разработки типа лесокультур, подготовки площади, обработки почвы, дополнений, агротехнических, лесоводственных уходов и др. Лесокультурное производство завершается назначением культур в рубку. Только при таком подходе можно достичь необходимого результата, отвечающего целевому заданию на выращивание искусственного насаждения. Окончательный итог – искусственно выращенный лес должен служить корректировкой для проектирования нового типа лесных культур очередной ротации. С учетом изменений в эдафической среде и новых целевых направлений тактика корректировок должна давать возможность осуществлять реальные искусственные древообороты, которые заменят и выполнят функции естественных процессов природной смены пород.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буш К.К., Иевинь И.К. Экологические и технологические основы рубок ухода. Рига: Зинатне, 1984. 172 с.
2. Жуков А.Б. Естественные и искусственные леса // Изв. АН СССР. Сер. Биологическая. 1962. № 4. С. 614–620.
3. Избранные труды Г.Ф. Морозова. М.: МГУЛ, 2004. 168 с.
4. Кашкаров Д.Н. Среда и сообщество (основы синэкологии). М.: Медгиз, 1933. 244 с.
5. Мелехов И.С. Интродукция хвойных в лесном хозяйстве // Лесоведение. 1984. № 6. С. 72–78.
6. Мерзленко М.Д. Теоретическая основа общей системы лесокультурного процесса // Лесн. журн. 1988. № 4. С. 7–11. (Изв. высш. учеб. заведений).
7. Мерзленко М.Д., Бабич Н.А. Лесоводство. Искусственное лесовосстановление: учеб. М.: Юрайт, 2016. 244 с.
8. Мигунова Е.С. Лесоводство и естественные науки (ботаника, география, почвоведение). М.: МГУЛ, 2007. 592 с.
9. Морозов Г.Ф. Памяти А.Н. Соболева // Лесопром. вестн. 1911. № 51. С. 565–567.
10. Писаренко А.И., Страхов В.В. Лесное хозяйство России от пользования – к управлению. М.: Юриспруденция, 2004. 552 с.
11. Рубцов М.В., Глазунов Ю.Б., Николаев Д.К. Лиственница европейская в центре Русской равнины // Лесн. хоз-во. 2011. № 5. С. 26–29.
12. Ткаченко М.Е. Общее лесоводство. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1952. 599 с.
13. Тольский А.П. Лесные культуры. Ч. III. Частное лесоводство. Л.: Изд-во журн. «Лесн. хоз-во и лесн. пром-сть», 1930. 388 с.
14. Турский М.К. Сборник статей по лесоразведению. М.: Изд-во Лесного департамента, 1893. 89 с.
15. Турский М.К. Лесоводство. Изд. 10-е, репринт. 1924 г. М.: МГУЛ, 2010. 425 с.
16. Тюрмер К.Ф. Важность искусственного лесовозращения // Лесн. журн. 1883. Вып. 1. С. 34–39.
17. Тюрмер К.Ф. Пятьдесят лет лесохозяйственной практики. М.: Типогр. Э. Лиснера и Ю. Романа, 1891. 182 с.
18. Яблоков А.С. Культура лиственницы и уход за насаждениями. М.: Гослестехиздат, 1934. 128 с.
19. Blankmeister J. Die räumliche und zeitliche Ordnung im Walde. Radebeul, Neumann Verl., 1956. 145 s.
20. Blankmeister J. Zur Waldbaulichen Forschung und zu ihrer Methodik in Waldschutzgebieten // Arch. Naturschutz und Landschaftsforschung. 1966. No. 4. S. 237–248.

Поступила 16.12.16

UDC 630\*232

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.22

### Relevant Aspects of Artificial Reforestation

*M.D. Merzlenko, Doctor of Agricultural Sciences, Professor*

Institute of Forest Science, Russian Academy of Sciences, ul. Sovetskaya, 21, Uspenskoe, Moscow region, 143030, Russian Federation; e-mail: md.merzlenko@mail.ru

The experience of artificial reforestation demonstrates the forest plantations as an effective method of increasing the productivity of our forests. The design, coupe demarcation and cultivation of forest crops should be based on the zonal-typological basis. The type of forest cultures is the core of the methodology of the silvicultural practice. At the present stage, the strategy and tactics in the silvicultural practice should reflect the dialectical relationship between the task order for the creation of forest crops and its implementation through environmentally sound methods for the formation of artificial forests. The improving the efficiency and quality of silvicultural works is impossible without a policy of reducing the differences between the biological and technological components of artificial reforestation based on the ecologization of the entire silvicultural process. The silvicultural process can not be considered complete after the transferring of forest crops to the wooded lands. Creation (coupe demarcation) and formation (cultivation) of forest crops is a long process; it can be completed only at the felling stage of an artificial plantation. The science and practice of artificial reforestation combine the wide experience of the most diverse forms of artificial forests in terms of composition, layering and age of components.

*Keywords:* artificial reforestation, type of forest plantations, mixed forestation, pure plantation, planting stability.

### REFERENCES

1. Bush K.K., Ievin' I.K. *Ekologicheskie i tekhnologicheskie osnovy rubok ukhoda* [Ecological and Technological Basis of Thinning]. Riga, 1984. 172 p.
2. Zhukov A.B. Estestvennye i iskusstvennye lesa [Natural and Artificial Forests]. *Izvestiya AN SSSR. Seriya Biologicheskaya* [Biology Bulletin of the Academy of Sciences of the USSR], 1962, no. 4, pp. 614–620.
3. *Izbrannye trudy of G.F. Morozov* [Selectas]. Moscow, 2004. 168 p.
4. Kashkarov D.N. *Sreda i soobshchestvo (osnovy sinekologii)* [Environment and Community (Foundations of Synecology)]. Moscow, 1933. 244 p.
5. Melekhov I.S. Introduktsiya khvoynykh v lesnom khozyaystve [Introduction of Conifers in Forestry]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 1984, no. 6, pp. 72–78.
6. Merzlenko M.D. Teoreticheskaya osnova obshchey sistemy lesokul'turnogo protsesssa [The Theoretical Basis of the General System of the Silvicultural Process]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 1988, no. 4, pp. 7–11.
7. Merzlenko M.D., Babich N.A. *Lesovodstvo. Iskusstvennoe lesovosstanovlenie* [Forestry. Artificial Reforestation]. Moscow, 2016. 244 p.

---

*For citation:* Merzlenko M.D. Relevant Aspects of Artificial Reforestation. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 3, pp. 22–30. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.22

8. Migunova E.S. *Lesovodstvo i estestvennye nauki (botanika, geografiya, pochvovedenie)* [Forestry and Natural Sciences (Botany, Geography, Soil Science)]. Moscow, 2007. 592 p.
9. Morozov G.F. Pamyati A.N. Soboleva [In Memory of A.N. Sobolev]. *Lesopromyshlennyy vestnik*, 1911, no. 51, pp. 565–567.
10. Pisarenko A.I., Strakhov V.V. *Lesnoe khozyaystvo Rossii ot pol'zovaniya – k upravleniyu* [Forestry in Russia: From the Use – to the Management]. Moscow, 2004. 552 p.
11. Rubtsov M.V., Glazunov Yu.B., Nikolaev D.K. Listvennitsa evropeyskaya v tsentre Russkoy ravniny [European Larch in the Center of the Russian Plain]. *Lesnoe khozyaystvo*, 2011, no. 5, pp. 26–29.
12. Tkachenko M.E. *Obshchee lesovodstvo* [General Forestry]. Moscow; Leningrad, 1952. 599 p.
13. Tol'skiy A.P. *Lesnye kul'tury. Ch. III. Chastnoe lesovodstvo* [Forest Cultures. Part III. Private Forestry]. Leningrad, 1930. 388 p.
14. Turskiy M.K. *Sbornik statey po lesorazvedeniyu* [Collected Works on Afforestation]. Moscow, 1893. 89 p.
15. Turskiy M.K. *Lesovodstvo* [Forestry]. Moscow, 2010. 425 p.
16. Tyurmer K.F. Vazhnost' iskusstvennogo lesovozrashcheniya [The Importance of Artificial Harvesting]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 1883, no. 1, pp. 34–39.
17. Tyurmer K.F. *Pyat'desyat let lesokhozyaystvennoy praktiki* [Fifty Years of Forestry Practice]. Moscow, 1891. 182 p.
18. Yablokov A.S. *Kul'tura listvennitsy i ukhod za nasazhdeniyami* [Larch Culture and Care of Plantations]. Moscow, 1934. 128 p.
19. Blankmeister J. *Die räumliche und zeitliche Ordnung im Walde*. Germany, Radebeul, 1956. 145 p.
20. Blankmeister J. Zur waldbaulichen Forschung und zu ihrer Methodik in Waldschutzgebieten. *Arch. Naturschutz und Landschaftsforschung*, 1966, no. 4, pp. 237–248.

Received on December 16, 2016

---

УДК 582.475.2:581.522

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.31

## СЕЗОННЫЙ РОСТ И РАЗВИТИЕ *JUNIPERUS COMMUNIS* L. В ТАЕЖНОЙ ЗОНЕ\*

**И.Т. Кищенко, д-р биол. наук, проф.**

Петрозаводский государственный университет, пр. Ленина, д. 33, г. Петрозаводск, Россия, 185910; e-mail: ivanki@karelia.ru

Изучение важнейших биологических процессов (сезонный рост и развитие) имеет огромное значение в теории и практике выращивания растений. Исследования проводили в южной Карелии (средняя подзона тайги, Ботанический сад Петрозаводского госуниверситета) с мая по октябрь 1998–2012 гг. для выяснения особенностей роста и развития *Juniperus communis* L. под влиянием основных климатических факторов. Объект исследования – растения (возраст – 20...25 лет), произрастающие под пологом соснового леса и на открытом месте. Число особей в каждой группе – 25. Установлено, что независимо от освещенности рост побегов у *J. communis* начинается одновременно – 26 мая. Время кульминации прироста побегов этого вида почти не различается – 31 мая–1 июня. Однако максимальный прирост побегов растений под пологом леса (0,64 мм) оказался на 78 % больше, чем на открытом месте. Время окончания роста побегов в обеих изученных группах совпадало – 1 августа. Продолжительность их формирования в затенении и на свету мало различается – 71...73 сут. Влияние температуры воздуха и солнечной радиации на интенсивность роста побегов на открытом месте (соответственно 68 и 20 %) значительно выше, чем в затенении (20 и 7 %). Эти данные, а также снижение интенсивности роста побегов растений на открытом месте свидетельствуют о существенном отрицательном влиянии повышенной температуры воздуха и прямой солнечной радиации на растения *J. communis*. Выявлено более заметное (в 3-4 раза) положительное влияние влажности воздуха и атмосферных осадков на рост побегов *J. communis* под пологом леса. Установлено, что большинство фаз у *J. communis* при полном освещении начинаются и заканчиваются на несколько суток позже, чем в затенении. Исследования, проведенные ранее, показали, что растения, «рано начинающие» и «рано прекращающие» фазы, характеризуются повышенной степенью адаптации. Следовательно, этот показатель у растений *J. communis* под пологом леса выше, чем на открытых местах, т. е. оптимальные условия для роста и развития изученного вида в таежной зоне складываются лишь под пологом леса, в затенении.

*Ключевые слова:* *Juniperus communis*, побеги, рост и развитие растений, факторы среды.

---

\*Работа выполняется при финансовой поддержке Программы стратегического развития ПетрГУ в рамках реализации комплекса мероприятий по развитию научно-исследовательской деятельности.

*Для цитирования:* Кищенко И.Т. Сезонный рост и развитие *Juniperus communis* L. в таежной зоне // Лесн. журн. 2017. № 3. С. 31–39. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.31

### Введение

Изучению сезонного роста и развития растений, в том числе древесных видов, уделяется большое внимание как в России, так и за рубежом. Познание этих важнейших биологических процессов имеет решающее значение в теории и практике выращивания растений. В первую очередь это касается лесообразующих видов, которые являясь эдификаторами и доминантами, создают собственно лесные экосистемы [13, 14, 16, 17]. Однако роль и других участников, например кустарников рода *Juniperus* L., может существенно отражаться на динамике лесных биогеоценозов.

В естественном ареале *Juniperus communis* L. растет в основном в подлеске сосновых и лиственных лесов. Вид является типичным ксерофитом и олиготрофом, произрастая на сухих и бедных песчаных и каменистых почвах. Он отличается высокой морозостойкостью [3, 4, 7, 12] и повышенной фитонцидностью. Все это, а также высокая декоративность в течение круглого года делают его весьма перспективным для озеленения городов России, расположенных в таежной зоне [9].

Между тем процессы роста и развития *J. communis* в специальной литературе изучены недостаточно и нуждаются в уточнении. Характер и степень влияния экологических факторов на рост и развитие этого вида до сих пор не изучены.

Цель данной работы – выяснение особенностей роста и развития *J. communis* под влиянием главных климатических факторов в условиях таежной зоны.

### Объекты и методы исследования

Исследования проводили в южной Карелии (средняя подзона тайги, Ботанический сад Петрозаводского госуниверситета) с мая по октябрь 1998–2012 гг. Объект исследования – растения можжевельника обыкновенного (*J. communis* L.), растущие под пологом соснового леса и на открытом месте. Под пологом леса освещенность в полуденное время, при ясной погоде, на 30 % меньше, чем на открытом месте. Усиление облачности эти различия нивелирует. Возраст растений – 20...25 лет. Число особей в каждой группе – 25.

Наблюдения за ростом побегов проводили по методике А.А. Молчанова и В.В. Смирнова [6]. С помощью линейки измеряли длину осевых стеблей (далее побегов) второго порядка ветвления с юго-западной части кроны на высоте около 1 м с момента набухания почек до заложения зимующих почек через каждые 2...3 сут. Объем выборки по каждому объекту исследований – 25 побегов. Суточный прирост определяли как разницу в длине побегов между последующим и предшествующим наблюдениями, деленную на число суток этого периода.

Фенологические наблюдения проводили по методике Н.Е. Булыгина [1]. Кроме авторов статьи, в них принимали участие и сотрудники Ботанического сада.

Степень влияния и различия между средними значениями приростов и фенодат оценены на достоверность. Из полученных элементарных статистик следует, что точность опыта довольно высока (6...8 %), коэффициент вариации невелик (17...22 %).

Климатические данные регистрировались на Сулажгорской метеостанции (Карельская гидрометеобсерватория), расположенной в 3 км к юго-западу от Ботанического сада.

*Результаты исследования и их обсуждение*

*Сезонный рост побегов.* Проведенные исследования позволили установить, что независимо от условий произрастания рост побегов у растений *J. communis* начинается одновременно – 26.V (табл. 1, здесь и далее приводятся результаты исследований, усредненные за 15 лет). При этом время кульминации прироста побегов растений почти не различается (31.V–1.VI).

Таблица 1

**Температурный режим воздуха в период роста побегов *J. communis***

Место произрастания	Дата	Среднесуточная температура воздуха, °С	Сумма положительных температур, °С
<i>Начало роста</i>			
Под пологом леса	26.V	8,2	304
Открытое место	26.V	8,2	304
<i>Кульминация прироста</i>			
Под пологом леса	31.V	9,9	378
Открытое место	1.VI	11,5	352
<i>Окончание роста</i>			
Под пологом леса	1.VIII	19,0	1006
Открытое место	1.VIII	19,0	1006

В процессе исследований выяснилось, что время окончания роста побегов *J. communis*, как и его начала, в обеих изученных группах растений не различается – 1.VIII (табл. 1).

Максимальный прирост побегов (0,64 мм) у растений *J. communis*, произрастающих под пологом леса, на 78 % больше, чем на открытом месте. Вполне понятно, что совпадение в сроках начала и окончания роста побегов приводит к одинаковой продолжительности их формирования под пологом и на свету – 71...73 сут (табл. 2).

Установлено, что с увеличением освещенности годичный прирост побегов снижается. Так, у растений, находящихся в затенении, данный показатель достигает 2,05 см, на открытом месте – на 11 % меньше. Эти данные свидетельствуют о том, что различия в величине годичного прироста побегов *J. communis* обусловлены интенсивностью, а не продолжительностью роста.

Таблица 2

**Основные характеристики линейного прироста побегов *J. communis***

Место произрастания	Прирост, мм		Продолжительность роста, сут
	максимальный суточный	годовой	
Под пологом леса	0,64	2,05	71
Открытое место	0,36	1,85	73

Физиологические реакции растений, в том числе и ростовые, определяются диапазоном толерантности вида к факторам среды [15], т. е., установив значение факторов среды в ключевые периоды роста, а также направление, форму и силу связи между динамикой прироста и изменчивостью этих факторов, можно судить о степени их соответствия требованиям организма.

Рост побегов *J. communis* независимо от условий освещенности начинается при среднесуточной температуре 8,2 °С. Известно, что на жизнедеятельность растений оказывает влияние не только текущее, но и предшествующее какому-либо процессу состояние среды. Одним из параметров, позволяющих охарактеризовать тепловой режим среды за период с момента перехода температуры воздуха через 0 °С до начала той или иной фазы, является сумма положительных температур. Как выяснилось, этот показатель к моменту начала роста побегов в обеих группах становится более 304 °С.

Во время кульминации прироста растений обеих групп температурный режим воздуха почти не различался (9,9...11,5 °С), сумма положительных температур достигала 352...378 °С. Во время прекращения роста побегов растений под пологом леса и на открытом месте среднесуточная температура воздуха составляла 19 °С, сумма положительных температур – 1006 °С.

Проведение дисперсионного анализа позволило установить, что ростовые реакции растений *J. communis* на изменчивость факторов среды в определенной степени связаны с условиями освещенности (табл. 3).

Таблица 3

**Степень влияния (%) экологических факторов на рост побегов *J. communis***

Фактор	Место произрастания	Степень влияния, %
Температура воздуха	Под пологом леса	20
	Открытое место	68
Влажность воздуха	Под пологом леса	8
	Открытое место	2
Атмосферные осадки	Под пологом леса	44
	Открытое место	12
Солнечная радиация	Под пологом леса	23
	Открытое место	7

Примечание. Показатель степени влияния достоверен, если его значение превышает 5 %.

Так, степень влияния температуры воздуха и солнечной радиации на интенсивность роста побегов на открытом месте составляет соответственно 68 и 23 %, что значительно выше, чем в затенении (20 и 7 %). Эти данные, а также снижение интенсивности роста побегов растений на открытом месте свидетельствуют о существенном отрицательном влиянии повышенной температуры воздуха и прямой солнечной радиации на растения *J. communis*.

Известно, что под пологом леса для растений складывается более благоприятный водный режим. Этому способствуют повышенная влажность воздуха и увеличение количества атмосферной влаги, просачивающейся в почву. Поэтому степень влияния влажности воздуха и атмосферных осадков на рост побегов *J. communis* под пологом леса (8 и 44 %) в 3-4 раза больше, чем на открытом месте.

*Сезонное развитие растений.* Фенологические наблюдения показали, что ритмика сезонного развития *J. communis* в определенной степени связана с условиями местопрорастания. Так, линейный рост побегов под пологом леса начинается на 2 сут раньше (22.V), чем у растений открытого местообитания (здесь и далее приводятся данные, усредненные за 15 лет). Эта фенофаза заканчивается у растений на свету (5.VIII) на 3 сут раньше, чем в затенении.

Раньше всего процесс опробковения оснований побегов начинается у растений в затенении (15.VII), на открытом месте – на 6 сут позже. Опробковение побегов по всей длине у растений первой группы заканчивается на 4 сут раньше, чем у растений второй группы (1.VIII).

Обособление хвои на побегах у растений обеих групп отмечается одновременно – 23.V. Рост хвои завершается раньше (13.VI) у растений в затенении, на открытом месте – на 4 сут позже.

Фенофазы генеративного развития у растений под пологом леса и на открытом месте почти не различаются, хотя на открытом месте и начинаются чуть раньше. Так, набухание генеративных почек отмечается 23–24.V, разverzание генеративных почек – 27.V, начало пыления – 6–8.VI, окончание пыления – 14–16.VI, достижение шишкочагодами зрелых размеров – 17.VIII.

Приведенные выше данные показывают, что большинство фенофаз у растений *J. communis* при полном освещении начинаются и заканчиваются на несколько суток позже, чем в затенении. Проведенные ранее исследования [2, 5, 8, 10, 11] показали, что растения «рано начинающие» и «рано прекращающие» фенофазы характеризуются повышенной степенью адаптации. Следовательно, степень адаптации растений *J. communis* под пологом леса выше, чем на открытых местах. Все это свидетельствует о том, что оптимальные условия для роста и развития изученного вида в таежной зоне складываются лишь под пологом леса, в затенении.

#### Заключение

Проведенные в южной Карелии (средняя подзона тайги) исследования позволили установить, что независимо от освещенности рост побегов у растений *J. communis* начинается одновременно. Время кульминации прироста побегов этого вида также почти не различается. Однако максимальный прирост побегов у растений *J. communis* под пологом леса на 78 % больше, чем у растений, произрастающих на открытом месте. Время окончания роста побегов *J. communis* в обеих изученных группах растений совпадает. Продолжительность их формирования в затенении и на свету мало различается.

Обнаружено, что степень влияния температуры воздуха и солнечной радиации на интенсивность роста побегов на открытом месте значительно выше, чем в затенении, что отрицательно сказывается на интенсивности их роста.

Выявлено заметное (в 3-4 раза) положительное влияние влажности воздуха и атмосферных осадков на рост побегов *J. communis* под пологом леса.

Приведенные выше данные показывают, что большинство фенофаз у растений *J. communis* при полном освещении начинаются и заканчиваются на несколько суток позже, чем в затенении, т. е. оптимальные условия для роста и развития изученного вида в таежной зоне складываются лишь под пологом леса, в затенении.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булыгин Н.Е. Фенологические наблюдения над древесными растениями: пособие по проведению учеб.-науч. исслед. по курсу дендрологии для студентов специальности 1512. Л.: Наука, 1979. 97 с.
2. Булыгин Н.Е. Принципы выделения дендроритмотипов и их индикаторное значение при интродукции древесных растений // Биологическое разнообразие. Интродукция растений: материалы 2-й Междунар. науч. конф., 20–23 апр. 1999 г. СПб.: Ботан. ин-т им. В.Л. Комарова, РАН, 1999. С. 111–113.
3. Еременко А.В., Таран С.С. Можжевельники в озеленении г. Ростова-на-Дону // Успехи современного естествознания. 2014. № 8. С. 119–120.
4. Кожевников А.П., Тишкина Е.А. Стратегия и биологические особенности *Juniperus communis* L. в естественных и нарушенных лесных экосистемах Южного Урала // Вестн. МГУЛ – Лесн. вестн. 2008. № 3. С. 39–43.
5. Комарова В.Н., Фирсов Г.А. Выделение перспективных древесных интродуцентов по данным фенологических наблюдений // Биологическое разнообразие. Интродукция растений: материалы 2-й Междунар. науч. конф., 20–23 апр. 1999 г. СПб.: Ботан. ин-т им. В.Л. Комарова, РАН, 1999. С. 182–185.
6. Молчанов А.А., Смирнов В.В. Методика изучения прироста древесных растений. М.: Наука, 1967. 95 с.
7. Панюшкина Н.В. Особенности роста, развития и способы размножения можжевельника обыкновенного в Среднем Поволжье // Лесн. журн. 2011. № 3. С. 29–32. (Изв. высш. учеб. заведений).
8. Плотникова Л.С. Научные основы интродукции и охраны древесных растений флоры СССР. М.: Наука, 1988. 263 с.
9. Соколова Г.Г., Молостова С.В. Перспективы использования можжевельников в озеленении в условиях лесостепной зоны Алтайского края // Изв. Алт. гос. ун-та. 2009. № 3. С. 27–29.
10. Термена Б.К., Выклюк М.И., Горук О.И. О сезонном развитии древесных растений в связи с их адаптационными возможностями // Бюл. ГБС АН СССР. 1984. Вып. 130. С. 23–29.
11. Трулевич Н.В. Эколого-фитоценотические основы интродукции растений. М.: Наука, 1991. 214 с.

12. Adams R.P., Pandey R.N. Analysis of *Juniperus communis* and Its Varieties Based on DNA Fingerprinting // Biochemical Systematics and Ecology. 2003. Vol. 31. Pp. 1271–1278.

13. Hirvelä H., Hynynen J. Lannoituksen vaikutus männikön kasvuun, latvavanriolhin ja fuu lituhoalittiuteen Lapissa // Folia Forestalia. 1990. No. 764. S. 1–16.

14. Owens J.N., Molder M., Langer H. Bud Development in *Picea glauca*. I. Annual Growth-Cycle of Vegetative Buds and Shoot Elongation as They Relate to Date and Temperature Sums // Canadian Journal of Botany. 1977. No. 55. Pp. 2728–2745.

15. Shelford V.E. Animal Communities in Temperate America, as Illustrated in the Chicago Region; a Study in Animal Ecology // Bull. Geogr. Soc. Chicago, 1913. No. 5. 362 p.

16. Schmidt P.A. Austriebsverhalten und Jährlicher Wachshumsrhythmus der Sprosse der Fichten-Arten (*Gattung picea* A. Dietr.) // Folia dendrol. 1989. No. 16. Pp. 211–236.

17. Wehrman J. Möglichkeiten und Grenzen der Blattanalyse in der Forstwirtschaft // Landwirtsch. Forsch. 1963. Vol. 16, no. 2. S. 130–145.

Поступила 12.12.16

UDC 582.475.2:581.522

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.31

### Seasonal Growth and Development of *Juniperus communis* L. in the Taiga Zone\*

**I.T. Kishchenko**, Doctor of Biological Sciences, Professor

Petrozavodsk State University, pr. Lenina, 33, Petrozavodsk, 185910, Russian Federation; e-mail: ivanki@karelia.ru

Study of the most important biological processes (seasonal plant growth and development) is of great importance in the theory and practice of plant growing. The investigations are carried out in southern Karelia (middle taiga subzone, Botanical Garden of Petrozavodsk State University) from May to October 1998–2012 to determine the characteristics of growth and development of *Juniperus communis* L. under the influence of the major climatic factors. The object of study is plants, growing under the canopy of a pine forest and in the exposed place. The number of individuals in each group is 25. Regardless of the shade density, *J. communis* shoot growth begins at the same time – on May 26. The peak time of shoot growth of this species is hardly differ – May 31 – June 1. However, the maximum shoot growth of plants under the canopy (0.64 mm) is 78 % higher than in the exposed place. The final time of shoot growth in both studied groups coincides – August 1. The duration of their formation in the shade and in the light is almost the same – 71...73 days. The effect of air temperature and solar radiation on the intensity of the shoot growth in the exposed place (respectively 68 and 20 %) is significantly higher than in the shade (20 and 7 %). These data, as well as reducing the intensity of plant shoot growth in the exposed place indicate the significant

---

\*This work was supported by the Strategic Development Program of the Petrozavodsk State University in the framework of a package of measures for the development of research activities.

*For citation:* Kishchenko I.T. Seasonal Growth and Development of *Juniperus communis* L. in the Taiga Zone. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 3, pp. 31–39. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.31

negative impact of increased air temperature and direct solar radiation on *J. communis* plants. We reveal a significant (3-4 fold) positive influence of air humidity and precipitation on the shoot growth of *J. communis* under the forest canopy than in the exposed place. The majority of phenophases of *J. communis* under the full exposure to sunlight begins and ends a few days later than in the shade. The previous studies have demonstrated a high degree of adaptation of plants, “early beginning” and “early finishing” the phenophases. Therefore, this indicator of *J. communis* plants under the forest canopy is higher than in the exposed place. The optimal conditions for the growth and development of the studied species in the taiga zone are formed only under the forest canopy, in the shade.

*Keywords:* *Juniperus communis*, shoot, growth and development of plants, environmental factors.

#### REFERENCES

1. Bulygin N.E. *Fenologicheskie nablyudeniya nad drevesnymi rasteniyami* [Phenological Observations of Woody Plants]. Leningrad, 1979. 97 p.
2. Bulygin N.E. Printsipy vydeleniya dendroritmotipov i ikh indikatsionnoe znachenie v introduktsii drevesnykh rasteniy [Principles of Dendrological Rhythm Type Allocation and Their Indicator Significance in the Introduction of Woody Plants]. *Biologicheskoe raznoobrazie. Introduktsiya rasteniy: materialy 2-y Mezhdunar. nauch. konf. (20–23 apr. 1999 g.)* [Biodiversity. Plant Introduction: Proc. 2nd Int. Sci. Conf. (20–23 April, 1999)]. Saint Petersburg, 1999, pp. 111–113.
3. Eremenko A.V., Taran S.S. Mozhzhevel'niki v ozelenenii g. Rostova-na-Donu [Junipers in Vegetation of the city of Rostov-on-Don]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Advances in Current Natural Sciences], 2014, no. 8, pp. 119–120.
4. Kozhevnikov A.P., Tishkina E.A. Strategiya i biologicheskie osobennosti *Juniperus communis* L. v estestvennykh i narushennykh lesnykh ekosistemakh Yuzhnogo Urala [Strategy and Biological Features of *Juniperus communis* L. in Natural and Disturbed Forest Eco-Systems of the Southern Urals]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik* [Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoy Vestnik], 2008, no. 3, pp. 39–43.
5. Komarova V.N., Firsov G.A. Vydelenie perspektivnykh drevesnykh introdutsentov po dannym fenologicheskikh nablyudeniy [Allocation of Promising Exotic Woody Species According to Phenological Observations Data]. *Biologicheskoe raznoobrazie. Introduktsiya rasteniy: materialy 2-y Mezhdunar. nauch. konf., 20–23 apr. 1999 g.* [Biodiversity. Plant Introduction: Proc. 2nd Int. Sci. Conf., 20–23 April, 1999]. Saint Petersburg, 1999, pp. 182–185.
6. Molchanov A.A., Smirnov V.V. *Metodika izucheniya prirosta drevesnykh rasteniy* [Methods of Studying of Woody Plants Growth]. Moscow, 1967. 95 p.
7. Panyushkina N.V. Osobennosti rosta, razvitiya i sposoby razmnozheniya mozhzhevel'nika obyknovennogo v Srednem Povolzh'e [Peculiarities of Growth, Development and Reproduction Modes of Common Juniper in the Middle Volga Region]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2011, no. 3, pp. 31–34.
8. Plotnikova L.S. *Nauchnye osnovy introduktsii i okhrany drevesnykh rasteniy flory SSSR* [Scientific Basis for the Introduction and Protection of Woody Plants of the USSR Flora]. Moscow, 1988. 263 p.
9. Sokolova G.G., Molostova S.V. Perspektivy ispol'zovaniya mozhzhevel'nikov v ozelenenii v usloviyakh lesostepnoy zony Altayskogo kraya [Using Junipers for Landscap-

ing in the Forest-Steppe Zone of the Altai Region]. *Izvestiya Altayskogo Gosudarstvennogo Universiteta* [Izvestiya of Altai State University], 2009, no. 3, pp. 27–29.

10. Termena B.K., Vyklyuk M.I., Goruk O.I. O sezonnom razvitii drevesnykh rasteniy v svyazi s ikh adaptatsionnymi vozmozhnostyami [Seasonal Development of Woody Plants Due to Their Adaptational Ability]. *Byulleten' Glavnogo botanicheskogo sada Akademii nauk SSSR* [Bulletin of the Main Botanical Garden of the USSR Academy of Sciences], 1984, vol. 130, pp. 23–29.

11. Trulevich N.V. *Ekologo-fitotsenoticheskie osnovy introduksii rasteniya* [Ecological and Pytocoenotic Foundations of Plant Introduction]. Moscow, 1991. 214 p.

12. Adams R.P., Pandey R.N. Analysis of *Juniperus communis* and Its Varieties Based on DNA Fingerprinting. *Biochemical Systematics and Ecology*, 2003, vol. 31, pp. 1271–1278.

13. Hirvelä H., Hynynen J. Lannoituksen vaikutus männikön kasvuun, latvavaurioihin ja tuulituhoalttiuteen Lapissa. *Folia Forestalia*, 1990, no. 764, p. 16.

14. Owens J.N., Molder M., Langer H. Bud Development in *Picea glauca*. 1. Annual Growth-Cycle of Vegetative Buds and Shoot Elongation as They Relate to Date and Temperature Sums. *Canadian Journal of Botany*, 1977, no. 55, pp. 2728–2745.

15. Shelford V.E. Animal Communities in Temperate America, as Illustrated in the Chicago Region; a Study in Animal Ecology. *Bull. Geogr. Soc. Chicago*, 1913, no. 5, 362 p.

16. Schmidt P.A. Austribsverhalten und Jährlicher Wachshumsrhythmus der Sprosse der Fichten-Arten (*Gattung picea* A. Dietr.). *Folia dendrol.*, 1989, no. 16, pp. 211–236.

17. Wehrman J. Möglichkeiten und Grenzen der Blattanalyse in der Forstwirtschaft. *Landwirsch. Forsch.*, 1963, vol. 16, no. 2, pp. 130–145.

Received on December 12, 2016

---

УДК 631.459.001.2:630\*116(479)  
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.40

## ОБОСНОВАНИЕ ДОПУСТИМЫХ РЕКРЕАЦИОННЫХ НАГРУЗОК В ЛЕСАХ ЗАПАДНОГО КАВКАЗА

*В.М. Ивонин, д-р с.-х. наук, проф.*

*И.В. Воскобойникова, канд. с.-х. наук, доц.*

Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А. К. Картунова – филиал Донского государственного аграрного университета, ул. Пушкинская, д. 111, г. Новочеркасск, Россия, 346428; e-mail: ivoninforest@ya.ru

Цель исследования – изучение допустимых рекреационных нагрузок в лесах Западного Кавказа, которые обеспечивают отсутствие процессов эрозии почв на склонах. В ходе эксперимента были использованы следующие методы: моделирование рекреационных нагрузок; исследование эрозии почвы после искусственного дождя; обработка данных с помощью компьютерных программ. Установлено, что по мере нарастания рекреационной нагрузки эрозия почв увеличивается. Известно, что эрозия почв и крутизна склона взаимосвязаны. При обработке экспериментальных данных получены уравнения, отражающие взаимосвязь эрозии почвы, рекреационной нагрузки и крутизны склона. При отсутствии эрозии почв на основании графического анализа определен допустимый уровень рекреационных нагрузок на склонах различной крутизны по группам типов леса. Это позволило обосновать допустимые рекреационные нагрузки, чел./га: в лесах низкогорий – 7,6...0,5; в лесах Колхиды – 1,7...0,8; в буковых лесах – 10,3...0,1; в пихтовых лесах – 7,3...1,4. В субальпийских лесах клена и рябины допустимая рекреационная нагрузка изменялась от 4,2 до 0,7 чел./га. Предложено не проводить рекреацию в дубовых, каштановых и буково-грабовых лесах низкогорий при крутизне склонов более 23°; в колхидских лиановых лесах – более 17°; в буковых лесах – более 20°; в пихтарниках – более 18°; в субальпийском редколесье – более 14°.

*Ключевые слова:* горные леса, рекреационная нагрузка, дождевание, эрозия почвы, крутизна склона.

### *Введение*

На территории Западного Кавказа леса занимают не менее 60 % общей площади, на верхней границе их произрастания расположены субальпийские криволесья и редколесья. Леса этого региона пользуются большим рекреационным спросом, что влечет за собой дигрессию ландшафтов, в первую очередь за счет деградации лесной подстилки, минерализации и уплотнения лесных почв, а также приводит к формированию поверхностного стока и активизации эрозии почв на склонах при интенсивных ливнях.

---

*Для цитирования:* Ивонин В.М., Воскобойникова И.В. Обоснование допустимых рекреационных нагрузок в лесах Западного Кавказа // Лесн. журн. 2017. № 3. С. 40–48. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.40

Аналогичные угрозы дикой природе отмечены и в национальных парках США [5], в лесах Северной Европы рекреационные нагрузки также приводят к деградации ландшафтов [6]. В городских лесах Праги при проведении хозяйственных мероприятий учитывают интенсивность рекреационных нагрузок [4].

Защита требует обоснования допустимых рекреационных нагрузок по различным группам типов лесов. Согласно ОСТ 56-100-95 для измерения рекреационной нагрузки применяют рекреационную плотность ( $Rd$ , чел./га – одновременное количество посетителей на единице площади за период измерения). Для групп типов лесов Северо-Западного Кавказа рекомендованы следующие допустимые рекреационные плотности, чел./га: для свежих каштанников (СВКШС) – 6,5; для свежих букняков (СВБК) – 5,3; для свежих дубняков дуба скального (СВДС) – 2,4 и др. [3]. Однако эти нагрузки не учитывают различную крутизну горных склонов.

В связи с этим возникла необходимость изучения процессов эрозии почв на склонах при рекреации в целях обоснования допустимых рекреационных плотностей по основным группам типов горных лесов Западного Кавказа.

#### *Объекты и методы исследования*

Исследования проводили с учетом требований ОСТ 56-84-85 на пробных площадях, заложенных в лесных насаждениях Сочинского национального парка в период с 1997 по 2015 гг.

В качестве объектов исследования (табл. 1) были выбраны:

1 (низкогорья) – квартал 51, выдел 2 Краснополянского участкового лесничества; вогнутый склон ЮЗЭ; бурые лесные, маломощные, щебенистые почвы;

2 (низкогорья) – квартал 48, выдел 20 Краснополянского участкового лесничества; вогнутый склон СЭ; темно-бурые лесные, среднеспособные, щебенистые почвы;

3 (низкогорья) – квартал 47, выдел 14 Краснополянского участкового лесничества; прямой склон ЗЭ; желто-бурые лесные, маломощные, щебенистые почвы;

4 (низкогорья) – квартал 39, выдел 4 Головинского участкового лесничества; прямой склон; бурые лесные тяжелосуглинистые и глинистые почвы;

5 (среднегорья) – квартал 3, выдел 2 Краснополянского участкового лесничества; вогнутый склон; бурые лесные легкоглинистые (местами тяжелосуглинистые) почвы;

6 (среднегорья) – квартал 4, выдел 45 Краснополянского участкового лесничества; выпуклый склон; бурые лесные легкоглинистые почвы;

7 и 8 (высокогорья) – северный пригребневой склон хребта Псехако на территории горно-туристического центра ОАО «Газпром»; бурые лесные тяжелосуглинистые почвы;

9 (высокогорья) – северный склон хребта Аибга (высота над у. м. – 2000 м, редколесье рябины), горно-климатический курорт «Альпика-Сервис»; горно-луговые дерновые субальпийские почвы;

10 (высокогорья) – северный склон хребта Аибга (высота над у. м. – 2000 м, редколесье клена), горноклиматический курорт «Альпика-Сервис»; горно-луговые дерновые субальпийские почвы.

Таблица 1

## Характеристика объектов исследования

Объект	Номер пробы	Крутизна склона	Состав насаждения	Возраст, лет	Группа типов леса	Средние		Запас древесины, м <sup>3</sup> /га
						высота, м	диаметр, см	
1	1.1–1.7	23...26°	2ДС	130	СВДС	25,8	40,2	339,3
			2БК	100		20,7	23,9	
			6Г	50		17,5	23,3	
2	2.1–2.7	20...26°30'	1-й ярус:		СВКШС			343,8
			8КШС	120		26,0	38,0	
			1Г	120		24,0	32,0	
			1ЛП	120		24,0	52,0	
			+ ПЛ	120		22,0	37,5	
			2-й ярус:					
			4КШС	53		14,0	18,0	
5Г	53	14,8	18,0					
3	3.1–3.7	19...21°30'	1ЛП	53	СВБК	14,5	18,3	403,6
			+ ПЛ	53		14,0	18,0	
			9БК	130		17,6	25,5	
4	4.1–4.7	21...31°	1ДС	130	СВДС	22,6	28,9	360,0
			1-й ярус:					
5	5.1–5.7	11...20°	5ДС	140	(колхидские лиано- вые леса)	24,0	62,0	40,0
			4Г	140		18,0	30,0	
6	6.1–6.7	21...30°	1КЛП	140	СВБК	15,0	22,0	160,0
			10СМ	120		6,0	7,0	
7	7.1–7.7	8...23°	8БК	120	СВБК	24,0	29,0	132
			2БК	150		28,0	40,0	
8	8.1–8.7	17...26°	10БК	160	СВБК	28,0	46,0	160,0
			6ПК	46		19	21	
9	9.1–9.7	12...17°	4БК	46	ВЛПК	15	19	Не опр.
			9РБ	40		5,5	10,5	
10	10.1–10.7	12...17°	1КЛВ	40	ВЛРЛ	8	10,2	Не опр.
			8КЛВ	45		7	8,8	
			2ОЛЧ	43				Не опр.

Примечание: ДС – дуб скальный (*Quercus petraea* L. ex. Liebl.); БК – бук восточный (*Fagus orientalis* Lipsky); Г – граб кавказский (*Carpinus caucasica* Crossh.); КШС – каштан посевной (*Castanea sativa* Mill.); ЛП – липа кавказская (*Tillia begoniifolia* Stev.); ПЛ – платан восточный (*Platanus orientalis* L.); КЛП – клен полевой (*Acer campestre* L.); СМ – самшит (*Buxus colchica* Rojark); ПК – пихта кавказская (*Abies hordmanniana* (Stev.) Spach); РБ – рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.); КЛВ – клен высокогорный (*Acer trautvetteri* Medw.); ОЛЧ – ольха черная (*Alnus glutinosa* Jaert.).

В процессе исследования использовали метод моделирования рекреационных нагрузок в полевых условиях. При этом рекреационное давление на почву воспроизводили посредством равномерного шагания человека среднего веса со скоростью 3,0...3,5 км/ч (60 шагов в 1 мин) на единице площади (1 м<sup>2</sup>) за определенное время, которое рассчитывали в зависимости от продолжительности периода рекреационной нагрузки ( $T$ , ч) в данном регионе [1].

При этом для лесов, расположенных на высотах до 1200 м над у. м., продолжительность сезона рекреации принимали равной 120 дн., продолжительность периода нагрузки – 1200 ч; для лесов, расположенных на высотах более 1200 м, – соответственно 90 дн. и 540 ч.

Варианты рекреационных плотностей (от 1 до 11 чел./га) моделировали на двух площадках-близнецах размером 1,43×0,70 м, размещая их длинной стороной вдоль склона.

На одной площадке осуществляли дождевание, на другой в соответствии с ГОСТ 12071–2000 отбирали образцы почв из слоя 0...20 см лесной подстилки и живого напочвенного покрова. Дождевание проводили с помощью исследовательской капельно-струйной установки. Сток, мутность стока и эрозию почв определяли по общепринятым методикам [2]. Полученные данные обрабатывали с помощью компьютерных программ Statistica 7.0 и Microsoft Office Excel.

*Результаты исследования и их обсуждение*

Результаты экспериментов по определению эрозии почв на стоковых площадках приведены в табл. 2. Их анализ показал, что по мере нарастания рекреационных нагрузок эрозия почв увеличивается, что связано с деградацией лесной подстилки и живого напочвенного покрова и ухудшением водно-физических свойств почв. В лесах низкогорий отмечена зависимость эрозии почв от крутизны склонов: наименьший смыв зафиксирован на объекте 3 (крутизна склонов по вариантам дождевания изменяется от 19 до 21°30'), наибольший – на объекте 4 (от 21 до 31°) [1].

Таблица 2

**Эрозия почв (т/га) при различной рекреационной плотности**

Объект	Рекреационная плотность, чел./га						
	0	1	3	5	7	9	11
<i>Низкогорья</i>							
1	0,0001	0,0369	1,8202	1,1254	0,9069	1,2551	1,2144
2	0,0001	0,0171	0,3533	0,9500	1,6640	2,0449	2,1949
3	0	0	0,0001	0,1018	0,7585	0,9081	1,1150
4	0	2,5800	5,3000	3,9300	4,7300	8,6000	7,0500
<i>Среднегорья</i>							
5	0,0070	0,5750	1,9510	3,3300	5,3980	12,1980	10,033
6	0	2,3620	2,9050	11,4190	31,6480	18,2990	31,9030
<i>Высокогорья</i>							
7	0	0,0001	0,0330	0,0590	0,6750	2,1700	2,92900
8	0	0,3100	0,3050	1,3120	4,6560	40,1890	41,5580
9	0,0330	0,4030	2,2390	3,8910	4,8810	7,0200	6,7600
10	0	0,0001	0,0700	0,1380	0,4680	1,5070	1,4960

Примечание. Слой дождя – 90 мм, на объектах 1–3 – 100 мм; время дождевания – 30 мин.

Подобная зависимость отмечена и в других лесах Западного Кавказа.

При обработке данных экспериментов по объектам исследований (группам типов лесов) получены уравнения множественной связи эрозии почв ( $M$ , т/га), рекреационной плотности ( $Rd$ , чел./га) и уклонов местности ( $i$ , tg  $\alpha$ ) или крутизны склонов ( $\alpha$ , ...°):

дубняки, каштанники и буково-грабовые леса низкогорий (объекты 1–3):

$$M = 0,18Rd + 5,24i - 2,29 \quad \text{при} \quad R = 0,816; \quad (1)$$

колхидские лиановые леса (объект 4):

$$M = 0,60Rd + 0,14\alpha - 2,42 \quad \text{при} \quad R = 0,898; \quad (2)$$

буковые леса среднегорий (объекты 5 и 6):

$$M = 1,39Rd + 1,42\alpha - 28,58 \quad \text{при} \quad R = 0,846; \quad (3)$$

пихтарники высокогорий (объекты 7 и 8):

$$M = 2,20Rd + 1,6\alpha - 32,00 \quad \text{при} \quad R = 0,828; \quad (4)$$

субальпийские редколесья рябины и клена (объекты 9 и 10):

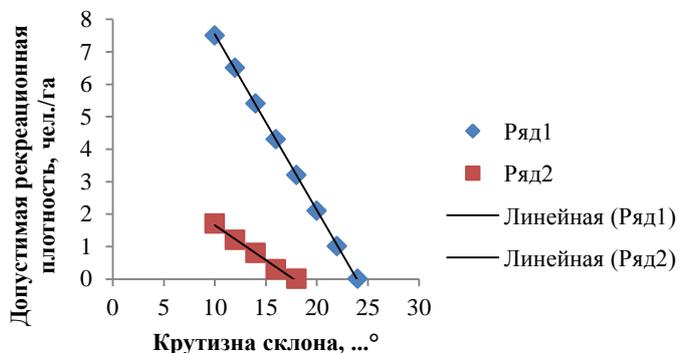
$$M = 0,22Rd + 0,19\alpha - 2,82 \quad \text{при} \quad R = 0,697. \quad (5)$$

Анализируя множественные уравнения регрессии (1)–(5), задаемся условием, что эрозия почв при рекреационных нагрузках должна отсутствовать ( $M = 0$ ). При этом условии и проведении графического анализа представленных зависимостей определяем допустимые рекреационные плотности на склонах разной крутизны.

Так, в лесах низкогорий (дубняки, каштанники и буково-грабовые леса) на склонах первой группы крутизны (до 10°) допустимая рекреационная плотность составляет 7,6 чел./га, на склонах второй группы крутизны (11... 20°) – 7,7...2,1 чел./га. На склонах крутизной 24° допустимая рекреационная плотность равна нулю, т. е. любая рекреационная нагрузка на этих склонах вызывает эрозионные процессы (см. рис. 1, ряд 1).

Колхидские лиановые леса располагаются в ущельях горных речек и ручьев (рис. 1, ряд 2). На склонах первой группы крутизны допустимая рекреационная плотность составляет всего 1,7 чел./га, на склонах второй группы – 1,5 (крутизна 11°)...0,1 чел./га (крутизна 17°). На склонах круче 17° любые рекреационные нагрузки в колхидских лиановых лесах вызовут эрозию почв при ливнях.

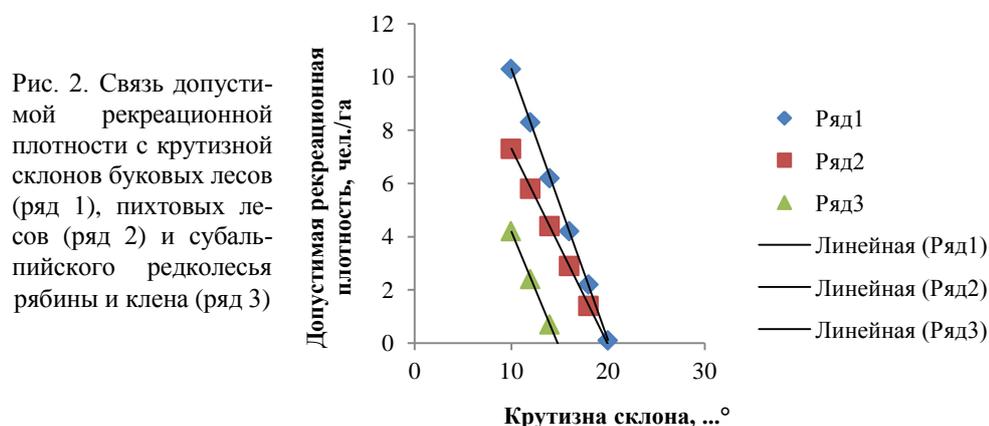
Рис. 1. Связь допустимой рекреационной плотности с крутизной склонов лесов низкогорий (ряд 1) и колхидских лиановых лесов (ряд 2)



В буковых лесах среднегорий (рис. 2, ряд 1) на склонах крутизной до 10° допустимая рекреационная плотность равна 10,3 чел./га, при крутизне склонов в пределах 11...20° допустимые рекреационные плотности уменьшаются от 10,2 до 0,1 чел./га.

В пихтовых лесах (рис. 2, ряд 2) на склонах первой и второй групп крутизны допустимые рекреационные нагрузки изменяются от 7,3 до 0, т. е. уже при крутизне 20° рекреация не допустима.

В субальпийских редколесьях (рис. 2, ряд 3) на склонах крутизной 10...14° допустимые рекреационные плотности уменьшаются от 4,2 до 0,7 чел./га. Поэтому в субальпийских редколесьях рекреация не допустима уже на склонах 15° и выше.



Результаты графического определения допустимых рекреационных плотностей по группам типов лесов Западного Кавказа на склонах различной крутизны представлены в табл. 3.

Таблица 3

**Допустимые рекреационные плотности (чел./га) в лесах Западного Кавказа при различной крутизне склонов**

Группа типов лесов	Крутизна склонов, ...°				
	10	14	18	20	23
Свежие дубняки дуба скального, свежие и влажные каштанники и буково-грабовые леса	7,6	5,4	3,2	2,1	0,5
Колхидские лиановые леса	1,7	0,8	0	0	0
Свежие и влажные букняки	10,3	6,2	2,2	0,1	0
Свежие и влажные пихтарники	7,3	4,4	1,4	0	0
Субальпийские редколесья рябины и клена	4,2	0,7	0	0	0

*Заключение*

В лесах Западного Кавказа по мере нарастания рекреационных нагрузок эрозия почв при ливнях увеличивается, что связано с деградацией лесной подстилки и живого напочвенного покрова и ухудшением водно-физических свойств почв. При обработке данных экспериментов по группам типов лесов получены уравнения множественной связи эрозии почв, рекреационной плотности и крутизны склонов, что позволило графически определить допустимые рекреационные плотности (при отсутствии эрозии почв) в зависимости от крутизны склонов.

Установлено, что рекреационные нагрузки не рекомендуются в свежих дубняках, свежих и влажных каштанниках и буково-грабовых лесах низкогорий при крутизне склонов более 23°; в колхидских лиановых лесах – более 17°; в свежих и влажных букняках среднегорий – более 20°; в свежих и влажных пихтарниках высокогорий – более 18°; в субальпийских редколесьях – более 14°.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ивонин В.М., Воскобойникова И.В., Пеньковский Н.Д., Багдасарян А.А.* Эрозия почв при осуществлении рекреационной деятельности в лесах Северо-Западного Кавказа: моногр. Ростов н/Д.: Фонд науки и образования, 2015. 202 с.
2. *Ивонин В.М., Пеньковский Н.Д.* Лесомелиорация ландшафтов (Науч. исслед.): учеб. пособие. Ростов н/Д.: СКНЦ ВШ, 2003. 151 с.
3. *Солнцев Г.К., Харитonenко Б.Я., Король Л.Г., Маргашов А.С., Дерябин И.Н.* Определение допустимых рекреационных нагрузок в лесах Черноморского побережья Кавказа // Интенсификация лесохозяйственного производства Северного Кавказа: тез. докл. науч.-практ. конф., г. Сочи, 13–15 апр. 1988 г. Краснодар, 1988. С. 65–66.
4. *Kupka I.* Recreational Load as a Driving Variable for Urban Forests // *J. For. Sci.* 2006. Vol. 52. Pp. 324–328.
5. *O'Brien B.* Our National Parks and the Search for Sustainability. USA, Texas, Austin, 1999. 247 p.
6. *Sievänen T., Edwards D., Predman P., Jensen F., Vistad O.* Social Indicators in the Forest Sector in Northern Europe: A Review focusing on Nature-based Recreation and Tourism. Norway, Copenhagen, 2013. 136 p.

Поступила 06.09.16

UDC 631.459.001.2:630\*116(479)  
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.40

**Substantiation of Allowable Recreational Loadings in the Forests of the Western Caucasus**

*V.M. Ivonin, Doctor of Agricultural Sciences, Professor*

*I.V. Voskoboynikova, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor*

Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute named after A.K. Kortunov, Don State Agrarian University, ul. Pushkinskaya, 111, Novocherkassk, 346428, Russian Federation; e-mail: ivoninfo@ya.ru

The goal of research was to study the allowable recreational loadings in the forests of the Western Caucasus, which provided the absence of soil erosion processes on the slopes. We used the following methods in the course of the experiment: recreational loading simulation; study of soil erosion after the artificial rainfall; electronic data processing. As the recreational loading increased, soil erosion also increased. Soil erosion and a cutslope ratio were interrelated. In the experimental data processing we obtained the equations, reflecting the relationship between soil erosion, recreational loading and a cutslope ratio. In the absence of soil erosion, we determined the level of recreational loadings on the slopes of different steepness according to the groups of the forest types on the basis of a graphic analysis. This allowed us to justify the allowable recreational loadings: in the forests of low mountains – 7.6...0.5 persons / ha; in the forests of Colchis – 1.7...0.8; in the beech forests – 10.3...0.1; in the fir forests – 7.3...1.4 persons / ha. In the subalpine forests of maple and mountain ash the allowable recreation loading varied from 4.2 to 0.7 persons / ha. We do not recommend to conduct recreation in the oak, chestnut and beech and hornbeam forests of low-hill terrains with a cutslope ratio of more than 23°; in the Colchis liana forests – more than 17°; in the beech forests – more than 20°; in the fir forests – more than 18°; in the subalpine woodland – more than 14°.

*Keywords:* mountain forest, recreational loading, sprinkling irrigation, soil erosion, cutslope ratio.

REFERENCES

1. Ivonin V.M., Voskoboynikova I.V., Pen'kovskiy N.D., Bagdasaryan A.A. *Eroziya pochv pri osushchestvlenii rekreatsionnoy deyatel'nosti v lesakh Severo-Zapadnogo Kavkaza* [Soil Erosion in the Recreational Activity in the Forests of the North-Western Caucasus]. Rostov-on-Don, 2015. 202 p.
2. Ivonin V.M., Pen'kovskiy N.D. *Lesomelioratsiya landshaftov. Nauchnye issledovaniya* [Landscape Forest Reclamation. Scientific Research]. Rostov-on-Don, 2003. 151 p.

---

*For citation:* Ivonin V.M., Voskoboynikova I.V. Substantiation of Allowable Recreational Loadings in the Forests of the Western Caucasus. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 3, pp. 40–48. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.40

3. Solntsev G.K., Kharitonenko B.Ya., Korol' L.G., Margashov A.S., Deryabin I.N. Opredelenie dopustimykh rekreatsionnykh nagruzok v lesakh Chernomorskogo poberezh'ya Kavkaza [Determination of Allowable Recreational Loadings in the Forests of the Black Sea Coast of the Caucasus]. *Intensifikatsiya lesokhozyaystvennogo proizvodstva Severnogo Kavkaza: tez. dokl. nauch.-prakt. konf., g. Sochi, 13–15 apr. 1988 g.* [Intensification of Forestry Production in the North Caucasus: Proc. Sci. Prac. Conf., Sochi, 13–15 April, 1988]. Krasnodar, 1988, pp. 65–66.

4. Kupka I. Recreational Load as a Driving Variable for Urban Forests. *J. For. Sci.*, 2006, vol. 52, pp. 324–328.

5. O'Brien B. *Our National Parks and the Search for Sustainability*. USA, Texas, Austin, 1999. 247 p.

6. Sievänen T., Edwards D., Fredman P., Jensen F., Vistad O. *Social Indicators in the Forest Sector in Northern Europe: a Review Focusing on Nature-Based Recreation and Tourism*. Norway, Copenhagen, 2013. 136 p.

Received on September 06, 2016

---

---

УДК 631.8:630\*232.3

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.49

## **ПОСЛЕДЕЙСТВИЕ 30-ЛЕТНЕГО ЕЖЕГОДНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ФОСФОРНЫХ УДОБРЕНИЙ НА РОСТ КУЛЬТУР СОСНЫ ПО ДИАМЕТРУ И КАЧЕСТВО ДРЕВЕСИНЫ. СООБЩЕНИЕ II\***

*А.И. Соколов, д-р с.-х. наук, доц.*

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

*В.А. Харитонов, вед. инж.*

Институт леса Карельского научного центра РАН, ул. Пушкинская, д. 11,  
г. Петрозаводск, Россия, 185910; e-mail: alexander.sokolov@krc.karelia.ru,  
pek-aleksei@list.ru, haritonov@krc.karelia.ru

В статье рассматриваются вопросы, связанные с восстановлением лесных фитоценозов, нарушенных в результате вырубki древостоя и последующего пожара. Объектом исследования служили 53-летние культуры сосны, созданные посевом на вересково-паловой вырубке с песчаными почвами. Цель работы – исследование динамики влияния многолетнего внесения фосфорсодержащих удобрений и его последствий на формирование годичного кольца и качество древесины средневозрастных культур сосны. Схема опыта: контроль (без внесения удобрений); Р (суперфосфат); РК (суперфосфат + хлористый калий); NP (мочевина + суперфосфат). Удобрения вносили ежегодно, начиная с 7-летнего возраста культур (1967 г.) на протяжении 30 лет (до 1996 г.). С 1967 г. по 1972 г. мочевины и хлористый калий вносили в дозе 60 кг/га, суперфосфат – в дозе 120 кг/га, с 1973 г. – каждый вид удобрений в дозе 120 кг/га по действующему веществу. Отмечено, что состав удобрений не только оказывал влияние на рост культур в период их внесения, но и определял продолжительность последствий. Установлено, что наибольший прирост по площади сечения стволов отмечен во время подкормок азотно-фосфорными удобрениями. Фосфорные и фосфорно-калийные удобрения были более эффективны в период их последствий. К концу периода наблюдений объем среднего дерева при внесении Р, РК и NP превосходил контроль в 1,6; 2,0 и 2,5 раза соответственно. Применение фосфорсодержащих удобрений повысило долю поздней древесины в годичном слое на 13...25 % по сравнению с контролем. Максимальной величины (30 %) данный показатель достиг при внесении одного суперфосфата. Плотность древесины в зависимости от вида внесенного удобрения колебалась от 406 до 446 кг/м<sup>3</sup>. При подкормках сосны азотно-фосфорными и фосфорно-калийными удобрениями отмечена тенденция снижения базисной плотности, особенно при включении в состав удобрений азота.

*Ключевые слова:* культуры сосны, минеральные удобрения, паловые вырубki, поздняя древесина, радиальный прирост.

---

\*Сообщение I опубликовано в «Лесном журнале» № 6 за 2016 г.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИЛ КарНЦ РАН 0220-2014-0011.

*Для цитирования:* Соколов А.И., Пеккоев А.Н., Харитонов В.А. Последствие 30-летнего ежегодного применения фосфорных удобрений на рост культур сосны по диаметру и качество древесины. Сообщение II // Лесн. журн. 2017. № 3. С. 49–60. (Изн. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.49

*Введение*

Фосфор играет важную роль в жизни растений. Он является структурным компонентом нуклеиновых кислот, входит в состав фосфолипидов, ферментов, витаминов, а также участвует в образовании и превращении углеводов и азотистых веществ. С химическими реакциями фосфора связан энергетический обмен живой клетки, процессы дыхания и брожения. Он принимает непосредственное участие в фотосинтезе, ускоряет развитие растений, повышает их зимостойкость, положительно влияет на рост корней [2, 8].

Имеются сведения, что песчаные почвы сосновых лесов таежной зоны, особенно поверхностно-подзолистые, бедны доступными растениям формами фосфорных соединений [7, 12, 17]. В то же время внесение только одних фосфорных удобрений в минеральные почвы в лесу нередко оказывается малоэффективным [5, 6] и в основном рекомендуется на торфяных почвах. Так, по данным В.И. Шубина с соавторами [21], длительное ежегодное внесение суперфосфата не улучшило роста 27-летних культур сосны по диаметру, несмотря на существенное накопление фосфора в почве. Вызвано это тем, что фосфорные удобрения, в отличие от азотных и калийных, связываются железом и алюминием в труднодоступные для растений формы. В результате общее содержание фосфора в почве не всегда свидетельствует об обеспеченности им растений [1, 3, 22]. Вероятно, поэтому имеющиеся в литературе сведения о лесоводственной эффективности фосфорных удобрений при лесовыращивании неоднозначны, а исследования влияния их многолетнего ежегодного применения на фитоценозы и последствия проведенных мероприятий в России в основном велись на сельскохозяйственных растениях [11]. В зарубежной литературе указывается [23, 25, 26], что последствие внесенных фосфорных удобрений на сосну может прослеживаться до 20...50 лет. Следует отметить, что биологический круговорот в хвойном лесу и на сельхозполях имеет существенные различия, что связано с биологическими особенностями растений, спецификой растительного опада, строением почвы, способами и кратностью ее обработки, составом и активностью почвенных организмов.

В большинстве работ по применению удобрений в лесу приводятся результаты одно- и двукратных подкормок, главным образом азотсодержащими удобрениями, на макроструктуру древесины. Это не позволяет в полной мере оценить роль отдельных элементов питания и механизмы их действия, поскольку эффективность подкормок зависит от вида и дозы удобрений, сроков внесения, возраста деревьев, почвенных условий, а также от температуры и осадков, не постоянных в течение вегетационных периодов [4, 13, 16], которые в значительной мере определяют интенсивность обменных процессов в растениях и структуру годичного кольца. Многолетние эксперименты с ежегодным внесением удобрений на постоянных пробных площадях дают возможность получить дополнительную информацию о влиянии отдельных элементов, в частности фосфора, на рост сосны в толщину и макроструктуру древесины, от которых во многом зависит запас древостоев и качество древесины.

Цель работы – изучить последствие 30-летнего ежегодного применения минеральных удобрений на формирование годичного кольца и качество древесины средневозрастных культур сосны, созданных на вересково-паловой вырубке с песчаными почвами.

#### *Объекты и методика исследования*

Объектом исследования являлись опытно-производственные культуры сосны, созданные посевом в 1961 г. с исходной плотностью 7,0 тыс. шт./га. В процессе их выращивания, начиная с 7-летнего возраста, на протяжении 30 лет ежегодно вносили разные виды минеральных удобрений. В качестве подкормок использовали мочевины (N), суперфосфат гранулированный (P) и хлористый калий (K). Схема опыта: контроль (без удобрений), P, PK, NP. С 1967 по 1972 г. N и K вносили из расчета 60, P – 120 кг/га по действующему веществу, а с 1973 по 1996 г. каждый вид удобрений применяли из расчета 120 кг/га. Удобрения вносили вручную ранней весной по всей площади делянки [21].

Обследование культур выполняли в соответствии с общепринятыми в лесной таксации методами. На каждой пробной площади проводили сплошной пересчет деревьев, методом пропорционального представительства отбирали по 20...24 учетных дерева, у которых буравом Пресслера на высоте груди брали керны для анализа динамики радиального прироста. Получить статистически достоверные данные для анализа ширины годичных слоев по кернам, отобраным на высоте 1,3 м, представилось возможным только с 15-летнего возраста культур, что обусловлено медленным ростом сосны в первые годы из-за воздействия ряда неблагоприятных факторов (недостаток питания и влаги, снежное шютте и др.) [20]. При обработке полученного материала использовали пакет статистического анализа StatGraphicsplusv.2.1.

#### *Результаты исследования и их обсуждение*

Обследование 53-летних культур сосны показало, что при использовании фосфорсодержащих удобрений средний диаметр деревьев увеличился на 15...43 %, высота – на 21...40 %, объем среднего дерева – в 1,6–2,5 раза, продуктивность древостоев повысилась на 0,8–1,6 класса бонитета (табл. 1).

Таблица 1

#### **Таксационная характеристика 53-летних культур сосны в опыте с ежегодным внесением фосфорных удобрений**

Вариант опыта	Плотность стояния, тыс. шт./га	Средние			Полнота	Запас древостоя, м <sup>3</sup> /га	Объем среднего дерева, м <sup>3</sup>	Класс бонитета
		диаметр		высота, м				
		см	t					
Контроль	1,52	10,8 ± 0,37	–	10,9	0,6	92	0,061	IV,2
P	1,38	12,4 ± 0,59	2,30	13,2	0,8	135	0,098	III,4
PK	1,17	14,2 ± 0,71	4,25	14,0	0,8	148	0,126	III,0
NP	2,12	15,4 ± 0,37	8,79	15,3	1,4	321	0,151	II,6

Примечание:  $t_{\text{табл}} = 1,96$ .

Дополнительный прирост по запасу в зависимости от вида удобрений и густоты древостоя составил от 43 до 229 м<sup>3</sup>/га. Наиболее эффективными оказались азотно-фосфорные удобрения, что в первую очередь связано с дефицитом азота в лесных почвах и, как следствие, большой отзывчивостью на него древесных растений [4, 9, 18]. Кроме того, азот с фосфором повлияли положительно на развитие корневых систем и рост деревьев. По результатам исследований Н.Ф. Чумак [19], при ежегодном внесении на данном участке мочевины, особенно совместно с фосфором, насыщенность почвы сосущими и проводящими корнями сосны, обеспечивающими поглощение и передвижение питательных веществ, резко возрастала как в лесной подстилке, так и по всему 20-сантиметровому горизонту почвы. Высокую эффективность применения азотно-фосфорных удобрений в культурах сосны лучистой отмечали и другие исследователи [24, 25].

Изменение режима питания в результате внесения удобрений повлияло на ход роста сосны по диаметру. При подкормках азотно-фосфорными удобрениями к 15-летнему возрасту культуры сосны в 2 раза превосходили контроль по этому показателю (рис. 1). На остальных делянках улучшение роста сосны под воздействием удобрений стало стабильно отмечаться с 20 лет.

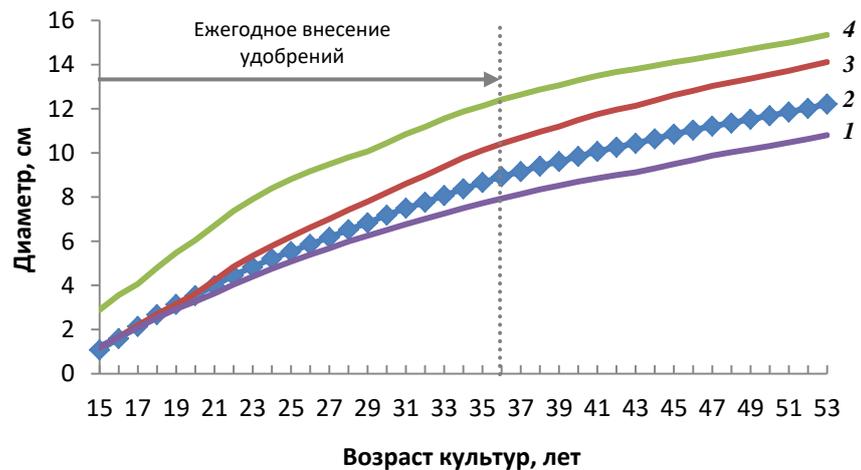


Рис. 1. Ход роста 53-летних культур сосны по диаметру при ежегодном 30-летнем применении фосфорных удобрений: 1 – контроль; 2 – P; 3 – PK; 4 – NP

К 36-летнему возрасту различия с контролем по среднему диаметру при применении суперфосфата составили 10 %, суперфосфата с хлористым калием – 30 %, суперфосфата с мочевиной – 57 %. После окончания подкормок данное соотношение сохранялось до конца периода наблюдений, за исключением последнего варианта, где по истечении 41 года рост сосны несколько замедлился.

С возрастом происходило закономерное снижение прироста сосны по диаметру и, как следствие, по площади сечения (рис. 2).

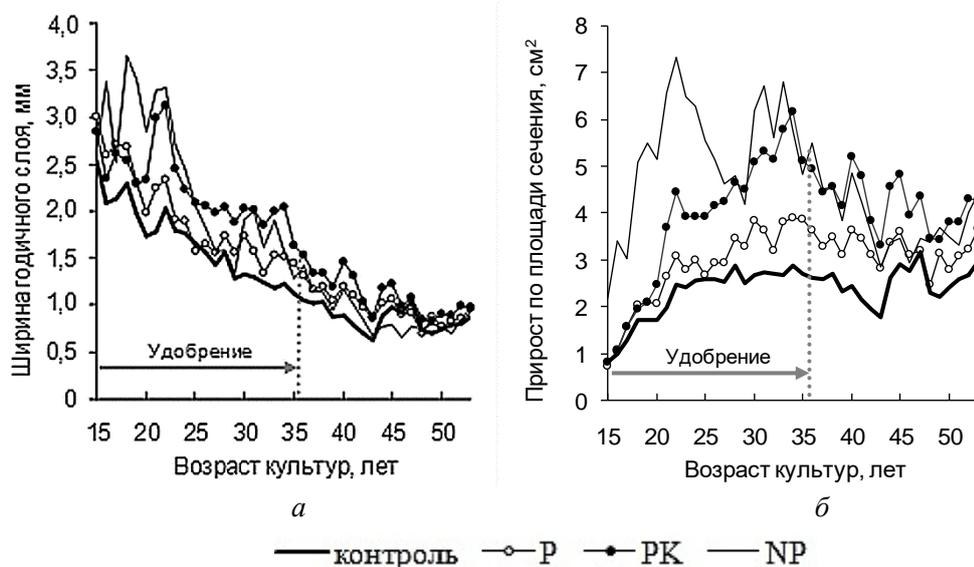


Рис. 2. Динамика прироста сосны по радиусу (а) и площади сечения (б) ствола при ежегодном внесении фосфорных удобрений

Флуктуации приростов вызваны нестабильными погодными условиями по годам наблюдений. Заметное их снижение отмечалось в засушливые периоды, особенно при применении азотсодержащего удобрения. Это связано с дефицитом влаги в почве, отмиранием части активной корневой системы, подавлением микоризообразования, уменьшением массы хвои и увеличением газообразных потерь азота [7, 8, 13, 14].

Азотсодержащие удобрения были наиболее эффективны в период подкормок, после их прекращения среднепериодический прирост по площади сечения достоверно снизился на 28 %, но все же был выше контроля. Это, видимо, вызвано нехваткой подвижного азота после прекращения подкормок, что привело к возникновению диспропорции между реальным наличием его в почве и потребностью в нем древостоя [10, 15]. При использовании фосфорно-калийных и фосфорных удобрений отмечалась тенденция их положительного последействия, однако различия по указанному показателю между рассматриваемыми периодами несущественны (табл. 2).

В промежутке 15...36 лет (до прекращения подкормок) внесение суперфосфата способствовало увеличению площади поперечного сечения на 24 %, суперфосфата совместно с хлористым калием – на 69 %, совместно с мочевиной – на 240 % по сравнению с контролем. В последующий период этот показатель соответственно составил 128, 167 и 150 %.

Таблица 2

**Влияние фосфорных удобрений на средний периодический прирост площади поперечного сечения сосны**

Вариант опыта	За весь период наблюдений		В том числе			
	см <sup>2</sup> / %	t	при внесении удобрений		последствие	
			см <sup>2</sup> / %	t	см <sup>2</sup> / %	t
Контроль	$2,4 \pm 0,08$ 100	–	$2,3 \pm 0,13$ 100	–	$2,5 \pm 0,09$ 100	–
P	$3,0 \pm 0,12$ 125	4,16	$2,8 \pm 0,19$ 122	2,18	$3,2 \pm 0,08$ 128	5,81
PK	$4,0 \pm 0,19$ 167	7,76	$3,9 \pm 0,33$ 170	4,51	$4,2 \pm 0,13$ 168	10,75
NP	$4,6 \pm 0,21$ 192	9,79	$5,3 \pm 0,27$ 230	10,00	$3,8 \pm 0,14$ 152	7,81

Примечание:  $t_{\text{табл}} = 1,99$ .

В целом за все время наблюдений фосфор обеспечил увеличение площади поперечного сечения сосны на высоте 1,3 м в 1,2; фосфор с калием – в 1,7; фосфор с азотом – в 2,0 раза (рис. 3).

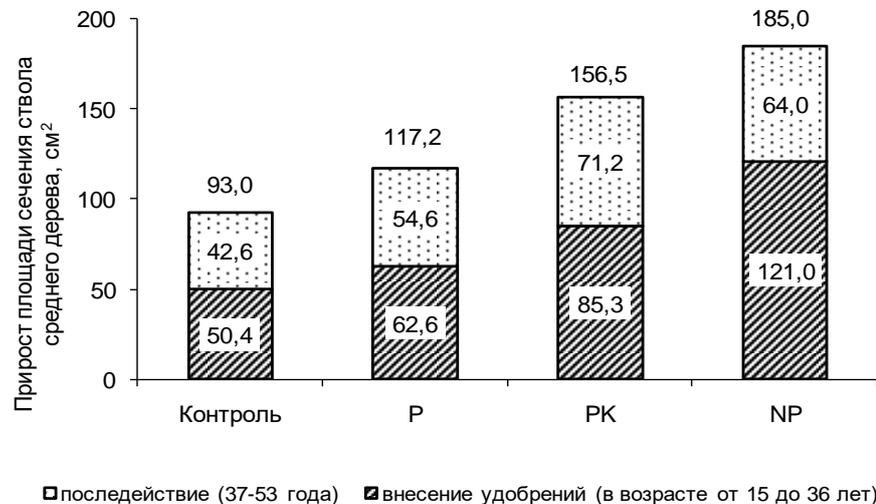


Рис. 3. Изменение площади поперечного сечения сосны в результате применения фосфорсодержащих удобрений

Под воздействием удобрений произошли изменения качественных показателей древесины. Вследствие повышения радиального прироста снизилось количество годичных слоев в 1 см. Влияние одного фосфора на ширину годичного слоя оказалось несущественным, однако процент поздней древесины и базисная плотность здесь имели максимальные значения (табл. 3).

Таблица 3

## Влияние фосфорных удобрений на показатели качества древесины сосны

Вариант опыта	Количество слоев в 1 см древесины	Ширина годовичного слоя		Количество поздней древесины в годовичном слое		Базисная плотность древесины	
		мм	t	%	t	кг/м <sup>3</sup>	t
Контроль	7,7	1,3 ± 0,08	–	24 ± 0,8	–	430 ± 9	–
P	6,7	1,5 ± 0,10	1,66	30 ± 0,9	4,24	446 ± 9	1,19
PK	5,9	1,7 ± 0,11	3,26	27 ± 0,9	2,26	418 ± 8	0,98
NP	5,9	1,7 ± 0,15	2,21	28 ± 1,1	2,61	406 ± 9	1,84

Примечание:  $t_{\text{табл}} = 1,99$ .

Фосфорно-калийные и азотно-фосфорные удобрения также способствовали повышению доли поздней древесины на 13...25 %, но при этом отмечена тенденция снижения базисной плотности, особенно при включении азота в состав удобрений.

#### Заключение

Ежегодное, на протяжении первых 13 лет, внесение фосфорных и фосфорно-калийных удобрений в посевы сосны, созданные на вересково-паловой вырубке с песчаными почвами, не оказало влияния на рост деревьев по диаметру, следовательно, в этот период растения не испытывали недостатка фосфора. На протяжении первого класса возраста сосна реагировала только на удобрения, содержащие азот (мочевина + суперфосфат). При этом произошло повышение диаметра в 2 раза по сравнению с контролем. Положительное воздействие фосфорных и фосфорно-калийных удобрений стало проявляться с 20-летнего возраста, и к возрасту 53 года они способствовали увеличению площади поперечного сечения сосны соответственно в 1,2 и 1,7 раза. Влияние удобрений на среднепериодический прирост в период подкормок и после их прекращения отличалось от азотсодержащих удобрений. Фосфорные и фосфорно-калийные удобрения более эффективны в период последствия, а азотно-фосфорные – во время подкормок. После прекращения ежегодного внесения азотно-фосфорного удобрения наблюдалось снижение темпов прироста сосны по площади поперечного сечения, которое, видимо, связано с тем, что лишенный дополнительной подпитки азотом древостой был вынужден адаптироваться к изменившимся условиям питания. Однако в целом до конца наблюдений прослеживается положительное последствие всех видов фосфорсодержащих удобрений на рост сосны в толщину.

Под воздействием удобрений отмечены изменения качественных показателей древесины. Все фосфорсодержащие удобрения способствовали повышению доли поздней древесины в годовичном слое. Максимальных значений количество поздней древесины и базисная плотность достигли при внесении

одного суперфосфата. При подкормках сосны азотно-фосфорными и фосфорно-калийными удобрениями отмечена тенденция снижения базисной плотности, особенно при наличии азота в составе удобрений.

В результате 30-летнего ежегодного внесения фосфорных удобрений объем среднего дерева увеличился в 1,6 раза, запас древостоя – на 47 %. Включение в состав удобрений азота, дефицитного для сосняков брусничных таежной зоны, привело к максимальному накоплению запаса и повышению продуктивности древостоя на I,6 класса бонитета.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Авдонин Н.С.* Научные основы применения удобрений. М.: Колос, 1972. 320 с.
2. *Гэлстон А., Девис П., Сэттер Р.* Жизнь зеленого растения: пер. с англ. М.: Мир, 1983. 552 с.
3. *Звирбуль А.П.* Принципы охраны лесных почв при их удобрении и известковании // Охрана природы и применение химических средств в сельском и лесном хозяйстве. Л.: Зоол. ин-т АН СССР, 1981. С. 60–65.
4. *Казимиров Н.И., Горбунова Т.М.* Лесоводственная эффективность применения азотных удобрений // Структура и производительность сосновых лесов на Европейском Севере. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1981. С. 60–70.
5. *Казимиров Н.И., Куликова В.К., Новицкая Ю.Е.* Применение минеральных удобрений в еловых лесах Карелии // Питание древесных растений и проблема повышения продуктивности лесов. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1972. С. 74–92.
6. *Коновалов В.Н.* Физиологическая оценка воздействия минеральных удобрений на древесные растения Крайнего Севера // Северные леса: состояние, динамика, антропогенное воздействие: материалы междунар. симп. Архангельск; М.: Госкомитет по лесу СССР, 1990. Ч. 2. С. 107–112.
7. *Куликова В.К.* Изменение агрохимических свойств почв при внесении минеральных удобрений // Повышение эффективности лесовосстановительных мероприятий на Севере: сб. науч. тр. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1977. С. 24–41.
8. *Лир Х., Польстер Г., Фидлер Г.-И.* Физиология древесных растений. М.: Лесн. пром-сть, 1974. 424 с.
9. *Листов А.А.* Боры-беломошники. М.: Агропромиздат, 1986. 181 с.
10. *Мельников Е.С., Сеннов С.Н., Грязькин А.В., Мартынов А.Н., Смирнов А.П.* Закономерности восстановительных процессов в лесных экосистемах на объектах хозяйственного воздействия // Изв. С.-Петерб. лесотехн. акад. Вып. 169. 2003. С. 191–205.
11. *Минеев В.Г., Гомонова Н.Ф.* Значение фосфора в улучшении свойств дерново-подзолистой почвы при действии и последствии длительного применения минеральных удобрений // Проблемы агрохимии и экологии. 2009. № 2. С. 3–9.

12. Морозова Р.Н., Богданова Г.И. Групповой состав фосфатов почв сосновых лесов // Структура и производительность сосновых лесов на Европейском Севере. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1981. С. 29–48.

13. Победов В.С., Волчков В.Е. Диагностика режима минерального питания и применение удобрений в сосновых лесах БССР // Питание древесных растений и проблема повышения продуктивности лесов. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1972. С. 34–47.

14. Сляднев А.П. Эффективность применения минеральных удобрений при выращивании сосновых насаждений зоны смешанных лесов // Применение минеральных удобрений в лесном хозяйстве. Минск: БелНИИЛХ, 1974. 80 с.

15. Соколов А.И., Пеккоев А.Н., Харитонов В.А., Кривенко Т.И. Ускоренное выращивание культур ели в среднетаежной подзоне Карелии // Лесн. журн. 2013. № 5. С. 96–105. (Изв. высш. учеб. заведений).

16. Степаненко И.И. Критерии и индикаторы роста, продуктивности лесных насаждений при их интенсивном выращивании // Лесн. журн. 2015. № 4. С. 18–29. (Изв. высш. учеб. заведений).

17. Федорец Н.Г. Почвенные условия вырубков Карелии последнего десятилетия // Вопр. лесовосстановления и лесозащиты в Карелии. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1983. С. 4–13.

18. Цветков В.Ф. Сосняки Кольской лесорастительной области и ведение хозяйства в них. Архангельск: АГТУ, 2002. 380 с.

19. Чумак Н.Ф. Микоризы сосны на песчаных почвах в связи с применением удобрений: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Петрозаводск, 1981. 25 с.

20. Шубин В.И. Влияние удобрений на рост культур сосны на песчаных почвах // Повышение эффективности лесовосстановительных мероприятий на Севере: сб. науч. тр. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1977. С. 78–87.

21. Шубин В.И., Гелес И.С., Крутов В.И., Морозова Р.М., Соколов А.И. Повышение производительности культур сосны и ели на вырубках. Петрозаводск: Карел. науч. центр АН СССР, 1991. 176 с.

22. Шутов И.В., Маслаков Е.Л., Маркова И.А., Полянский Е.В., Бельков В.П., Гладков Е.Г., Головчанский И.Н., Рябинин Б.Н., Морозов В.А., Шиманский П.С. Лесные плантации (Ускоренное выращивание ели и сосны). М.: Лесн. пром-сть, 1984. 248 с.

23. Comerford N.B., de Barros N.F. Phosphorus Nutrition of Forest Trees // Phosphorus: Agriculture and the Environment. Agronomy Monograph. Am. Soc. Agron. Ed. by T.J. Sims, A.N. Sharpley. USA, Madison, WI, 2005. No. 46. Pp. 541–558.

24. Snowdon P., Waring H.D. Growth Responses by *Pinus radiata* to Combinations of Superphosphate, Urea and Thinning Type // Forest Ecology and Management. 1990. Vol. 30, iss. 1–4. Pp. 313–325.

25. Turner J., Lambert M.J. Long-Term Growth Responses to Phosphatic Fertilisers in a *Pinus radiata* Plantation // Australian Forestry. 2015. Vol. 78(4). Pp. 207–218.

26. Turner J., Lambert M.J., Humphreys F. Continuing Growth Response to Phosphate Fertilizers by a *Pinus radiata* Plantation Over Fifty Years // Forest Science. 2002. Vol. 48. Pp. 556–568.

Поступила 14.11.16

UDC 631.8:630\*232.3

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.49

**The Aftereffect of 30-Year-Long Annual Phosphorous Fertilizers Application on the Pine Diameter Growth and Timber Quality. Report II**

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

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

*V.A. Kharitonov, Chief Engineer*

Forestry Research Institute of Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, ul. Pushkinskaya, 11, Petrozavodsk, 185910, Russian Federation;

e-mail: alexander.sokolov@krc.karelia.ru, pek-aleksei@list.ru, haritonov@krc.karelia.ru

The issues related to the restoration of forest communities destroyed by timber harvesting followed by burning are considered. The study object was 53-year-old pine crops seeded in a burnt felling of the heather type with sandy soils. The work objective was to investigate the aftereffect of long-term annual application of phosphate fertilizers on the annual ring formation and timber quality in middle-aged pine crops. The experimental design was as follows: control (no fertilization), P, PK, NP. Fertilizers were applied annually from the time the crops were 7 years old (1967) for 30 years (until 1996). From 1967 to 1972 urea and potassium chloride were applied in the dose of 60 kg/ha, superphosphate – in the dose of 120 kg/ha; and from 1973 to 1996 each of the fertilizers was applied in the 120 kg/ha dose. The composition of the fertilizers predetermined the growth of crops during treatments and influenced the duration and degree of their aftereffect. The greatest bole area increment was observed during application of NP fertilizers. P and PK fertilizers were more effective during their aftereffect. An average tree volume by the end of the observation period was 1.6; 2.0 and 2.5-fold greater than the control when fertilization of P, PK and NP, respectively. The use of phosphate fertilizers increased the proportion of latewood in the annual layer by 13...25% in comparison with the control. The maximum value (30 %) this parameter reached at the application of superphosphate only. Wood density ranged from 406 to 446 kg/m<sup>3</sup> depending on the type of the applied fertilizer. Treatments with NP and PK fertilizers tended to reduce the basic density of pine wood, especially the nitrogen-containing fertilizers.

*Keywords:* pine crop, mineral fertilizer, slash and burn felling, latewood, radial increment.

REFERENCES

1. Avdonin N.S. *Nauchnye osnovy primeneniya udobreniy* [The Scientific Basis for the Use of Fertilizers]. Moscow, 1972. 320 p.
2. Galston A.W., Davies P.J., Satter R.L. *The Life of the Green Plant*. USA, NJ, 1980. 550 p.
3. Zvirbul' A.P. Printsipy okhrany lesnykh pochv pri ikh udobrenii i izvestkovanii [The Principles of the Forest Soils Protection when Their Fertilization and Liming]. *Okhrana*

---

*For citation:* Sokolov A.I., Pekkoev A.N., Kharitonov V.A. The Aftereffect of 30-Year-Long Annual Phosphorous Fertilizers Application on the Pine Diameter Growth and Timber Quality. Report II. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 3, pp. 49–60. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.49

*prirody i primeneniye khimicheskikh sredstv v sel'skom i lesnom khozyaystve* [Nature Conservation and the Use of Chemicals in Agriculture and Forestry]. Leningrad, 1981, pp. 60–65.

4. Kazimirov N.I., Gorbunova T.M. Lesovodstvennaya effektivnost' primeneniya azotnykh udobreniy [Silvicultural Efficiency of Nitrogen Fertilizers]. *Struktura i proizvoditel'nost' sosnovykh lesov na Evropeyskom Severe* [Structure and Productivity of Pine Forests in the European North]. Petrozavodsk, 1981, pp. 60–70.

5. Kazimirov N.I., Kulikova V.K., Novitskaya Yu.E. Primeneniye mineral'nykh udobreniy v elovykh lesakh Karelii [The Use of Mineral Fertilizers in the Spruce Forests of Karelia]. *Pitanie drevesnykh rasteniy i problema povysheniya produktivnosti lesov* [Woody Plants Nutrition and the Problem of Increasing of Forest Productivity]. Petrozavodsk, 1972, pp. 74–92.

6. Kononov V.N. Fiziologicheskaya otsenka vozdeystviya mineral'nykh udobreniy na drevesnye rasteniya Kraynego Severa [Physiological Assessment of Impact of Mineral Fertilizers on Woody Plants in the Far North]. *Severnye lesa: sostoyaniye, dinamika, antropogennoe vozdeystvie: materialy Mezhdunar. simp.* [Boreal Forests: State, Dynamics, Anthropogenic Impact: Proc. Intern. Symp.]. Arkhangelsk; Moscow, 1990, part 2, pp. 107–112.

7. Kulikova V.K. Izmeneniye agrokhimicheskikh svoystv pochv pri vnesenii mineral'nykh udobreniy [Change of Soils Agrochemical Properties at Mineral Fertilizing]. *Povysheniye effektivnosti lesovosstanovitel'nykh meropriyatiy na Severe: sb. nauch. tr.* [Improving the Reforestation Efficiency in the North]. Petrozavodsk, 1977, pp. 24–41.

8. Lyr H., Polster H., Fiedler J. *Gehölzphysiologie*. Vienna, 1974. 424 p.

9. Listov A.A. *Bory-belomoshniki* [Lichen Coniferous Forests]. Moscow, 1986. 181 p.

10. Mel'nikov E.S., Sennov S.N., Gryaz'kin A.V., Martynov A.N., Smirnov A.P. Zakonomernosti vosstanovitel'nykh protsessov v lesnykh ekosistemakh na ob"ektakh khozyaystvennogo vozdeystviya [Patterns of Recovery Processes in the Forest Ecosystems at the Sites of the Economic Impact]. *Izvestia Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii (Izvestia SPbLTA)*, 2003, no. 169, pp. 191–205.

11. Mineev V.G., Gomonova N.F. Znachenie fosfora v uluchshenii svoystv dernovo-podzolistoy pochvy pri deystvii i posledeystvii dlitel'nogo primeneniya mineral'nykh udobreniy [The Value of Phosphorus in Improving the Properties of the Sod-Podzolic Soil Under the Action and the Aftereffect of Long Application of Fertilizers]. *Problemy agrokhimii i ekologii*, 2009, no. 2, pp. 3–9.

12. Morozova R.N., Bogdanova G.I. Gruppovoy sostav fosfatov pochv sosnovykh lesov [Group Composition of Soil Phosphates of Pine Forests]. *Struktura i proizvoditel'nost' sosnovykh lesov na Evropeyskom Severe* [Structure and Productivity of Pine Forests in the European North]. Petrozavodsk, 1981, pp. 29–48.

13. Pobedov V.S., Volchkov V.E. Diagnostika rezhima mineral'nogo pitaniya i primeneniye udobreniy v sosnovykh lesakh BSSR [Diagnosis of the Regime of Mineral Nutrition and Fertilizers Application in the Pine Forests of the BSSR]. *Pitanie drevesnykh rasteniy i problema povysheniya produktivnosti lesov* [Woody Plants Nutrition and the Problem of Increasing of Forest Productivity]. Petrozavodsk, 1972, pp. 34–47.

14. Slyadnev A.P. Effektivnost' primeneniya mineral'nykh udobreniy pri vyrashchivaniy sosnovykh nasazhdeniy zony smeshannykh lesov [The Efficiency of Application of Mineral Fertilizers when Pine Plantations Growing in the Mixed Forest Zone]. *Primeneniye mineral'nykh udobreniy v lesnom khozyaystve* [The Use of Mineral Fertilizers in Forestry]. Minsk, 1974. 80 p.

15. Sokolov A.I., Pekkoev A.N., Kharitonov V.A., Krivenko T.I. Uskorennoe vyrashchivanie kul'tur eli v srednetaezhnoy podzone Karelii [Accelerated Growing of Spruce Cultures in the Middle Taiga Subzone of Karelia]. *Lesnoy zhurnal*, 2013, no. 5, pp. 96–105.
16. Stepanenko I.I. Kriterii i indikatory rosta, produktivnosti lesnykh nasazhdeniy pri ikh intensivnom vyrashchivanii [Criteria and Indicators of Growth, Productivity of Forest Stands Under Their Intensive Cultivation]. *Lesnoy zhurnal*, 2015, no. 4, pp. 18–29.
17. Fedorets N.G. Pochvennye usloviya vyrubok Karelii poslednego desyatiletia [Soil Felling Conditions of the Last Decade in Karelia]. *Voprosy lesovosstanovleniya i lesozashchity v Karelii* [Problems of Reforestation and Forest Protection in Karelia]. Petrozavodsk, 1983, pp. 4–13.
18. Tsvetkov V.F. *Sosnyaki Kol'skoy lesorastitel'noy oblasti i vedenie khozyaystva v nikh* [Pine Forests of the Kola Forest Growth Area and Management]. Arkhangelsk, 2002. 380 p.
19. Chumak N.F. *Mikorizy sosny na peschanykh pochvakh v svyazi s primeneniem udobreniy*: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk [Mycorrhizae of Pine on Sandy Soils in Connection with Fertilizing: Cand. Biol. Sci. Diss. Abs.]. Petrozavodsk, 1981. 25 p.
20. Shubin V.I. Vliyanie udobreniy na rost kul'tur sosny na peschanykh pochvakh [Effect of Fertilizers on the Growth of Pine Crops on Sandy Soils]. *Povyshenie effektivnosti lesovosstanovitel'nykh meropriyatiy na Severe: sb. nauch. tr.* [Improving the Reforestation Efficiency in the North]. Petrozavodsk, 1977, pp. 78–87.
21. Shubin V.I., Geles I.S., Krutov V.I., Morozova R.M., Sokolov A.I. *Povyshenie proizvoditel'nosti kul'tur sosny i eli na vyrubkakh* [Increasing the Productivity of Pine and Spruce Crops in Clearings]. Petrozavodsk, 1991. 176 p.
22. Shutov I.V., Maslakov E.L., Markova I.A., Polyanskiy E.V., Bel'kov V.P., Gladkov E.G., Golovchanskiy I.N., Ryabinin B.N., Morozov V.A., Shimanskiy P.S. *Lesnye plantatsii (Uskorennoe vyrashchivanie eli i sosny)* [Forest Plantations (Fast Growing of Spruce and Pine)]. Moscow, 1984. 248 p.
23. Comerford N.B., de Barros N.F. Phosphorus Nutrition of Forest Trees. *Phosphorus: Agriculture and the Environment. Agronomy Monograph. Am. Soc. Agron.* Ed. by T.J. Sims, A.N. Sharpley. USA, Madison, WI, 2005, no. 46, pp. 541–558.
24. Snowdon P., Waring H.D. Growth Responses by *Pinus radiata* to Combinations of Superphosphate, Urea and Thinning Type. *Forest Ecology and Management*, 1990, vol. 30, iss. 1–4, pp. 313–325.
25. Turner J., Lambert M.J. Long-Term Growth Responses to Phosphatic Fertilisers in a *Pinus radiata* Plantation. *Australian Forestry*, 2015, vol. 78(4), pp. 207–218.
26. Turner J., Lambert M.J., Humphreys F. Continuing Growth Response to Phosphate Fertilizers by a *Pinus radiata* Plantation Over Fifty Years. *Forest Science*, 2002, vol. 48, pp. 556–568.

Received on November 14, 2016

---

УДК 630\*165.3

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.61

## ПРОГНОЗ И КОНТРОЛЬ ПАТОГЕНЕЗА В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

*Ю.Ф. Арефьев, д-р биол. наук, проф.*

*М.М. Мамедов, канд. биол. наук, ассист.*

Воронежская государственная лесотехническая академия, ул. Тимирязева, д. 8,  
г. Воронеж, Россия, 394087; e-mail: arefjev@voronezh.net

Прогноз патогенеза в лесных, преимущественно гомогенных экосистемах в силу его многофакторности всегда вероятностный. Достаточно высокая степень детерминированности прогноза возможна в более сложных гетерогенных насаждениях. В сложных лесных экосистемах вероятностный прогноз патогенеза замещается на близкий к детерминированному прогноз, который может быть основой для контроля патогенеза. Для гомогенных лесных насаждений непредсказуемость эпифитотий, в то время как для гетерогенных насаждений характерны плавные достоверно предсказуемые флуктуации патогенеза. При этом патогены часто переходят к сапротрофному питанию. Этот феномен особенно характерен для высоко гетерогенных мозаичных насаждений. Иерархия целей исследований данной работы состоит в том, чтобы через достаточно детерминированный прогноз обеспечить эффективный контроль патогенеза и предложить концептуальные модели формирования устойчивых к патогенным организмам насаждений. Лесные насаждения как биологические системы характеризуются повышенной сложностью и динамичностью. Влияние на патогенез многих изменяющихся факторов создает хаотичность, широко распространенную в природе. Актуальная задача заключается в том, чтобы хаотичное поведение лесных экосистем преобразовать в регулируемый процесс. При этом долгосрочные прогнозы патогенеза должны стать менее зависимыми от внешних воздействий и определяться преимущественно внутренними факторами биосистемы. Методология исследований основана на приложении схемы трехфакторного анализа влияния исследуемых факторных групп на жизнеспособность (состояние здоровья) насаждений. Исследования проводились в различных по уровню гетерогенности насаждениях Среднерусской лесостепи в течение последних 10 лет. Установлено, что по силе влияния доминировала окружающая среда. Факторы влияния популяции патогена и популяции хозяйственных растений были модифицирующими. Чтобы долгосрочные прогнозы патогенеза стали менее зависимыми от внешних влияний и зависели больше от внутренних факторов биосистем, рекомендуется переходить от обычных в Среднерусской лесостепи гомогенных насаждений к гетерогенным.

*Ключевые слова:* контроль патогенеза, лесная экосистема, болезни леса.

### *Введение*

Патогенез, понимаемый как возникновение и развитие инфекционных болезней, в лесных экосистемах специфичен. Специфика заключена в характере

---

*Для цитирования:* Арефьев Ю.Ф., Мамедов М.М. Прогноз и контроль патогенеза в лесных экосистемах // Лесн. журн. 2017. № 3. С. 61–69. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.61

отношений паразит–хозяин: резистентность древесных растений противостоит вирулентности патогена. В этой борьбе за жизнь лесные древесные растения проигрывают, поскольку наиболее значимые в настоящее время патогены – грибы – размножаются и сексуально, и асексуально, в то время как их хозяинные лесные древесные породы размножаются в природе только сексуально, т. е. в процессе смен фаз ядра. В этом различии – главное преимущество патогенных грибов.

Другое преимущество патогенных грибов заключается в том, что для них характерен быстрый темп смены генераций, в то время как у лесных древесных пород темп смены генераций медленный. В результате патогенные грибы по сравнению с древесными породами-хозяевами биологически более успешны – продуцируют и широко распространяют наиболее вирулентные штаммы. Чтобы этому успешно противостоять, необходимы прогноз и контроль патогенеза в лесных экосистемах. Патогенез в лесных экосистемах находится под воздействием трех основных групп факторов:

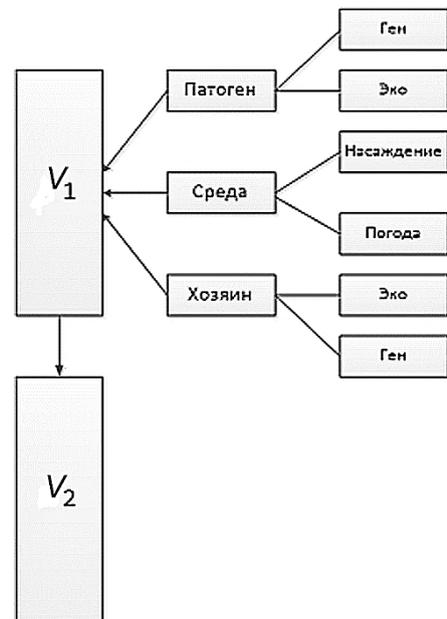
*A* – состояние популяции патогена;

*B* – состояние окружающей среды;

*C* – состояние популяции древесной породы хозяинного растения – хозяина (рис. 1).

Трехуровневая система (с изменяющимися параметрами) регуляции патогенеза в лесных экосистемах всегда имеет вероятностный характер и зависит от начального состояния объекта ( $V_1$ ). Поведение такой биосистемы целесообразно изучать посредством дисперсионного анализа экспериментальных данных путем исследования значимости различий полученных средних значений.

Рис. 1. Трехуровневая система регуляции патогенеза в лесных экосистемах:  $V_1$  – жизнеспособность насаждений начальная;  $V_2$  – жизнеспособность тех же насаждений через некоторое время после воздействия трехуровневой системы регуляции



Иерархия целей исследований состоит в том, чтобы через прогноз патогенеза обеспечить его достаточно эффективный контроль и предложить концептуальные модели формирования насаждений, устойчивых к патогенным организмам в различных условиях произрастания. Лесные насаждения как биологические системы характеризуются повышенной сложностью и динамичностью. Влияние на патогенез многих изменяющихся факторов создает хаотичность, широко распространенную в природе. Задача заключается в том, чтобы хаотичное поведение лесных экосистем преобразовать в регулируемое. При этом долгосрочные прогнозы патогенеза должны стать менее зависимыми от внешних воздействий и определяться преимущественно внутренними факторами биосистемы.

*Объекты и методы исследования*

Исследования проводили в преимущественно искусственно созданных гомогенных и гетерогенных насаждениях Среднерусской лесостепи в течение 10 лет. Жизнеспособность деревьев и насаждений оценивали по 5-балльной шкале (табл. 1).

Таблица 1

**Шкала оценки состояния здоровья деревьев и насаждений**

Патологическая характеристика деревьев и насаждений	Жизнеспособность, балл
Здоровые деревья – без видимых признаков ослабления или повреждений	5
Ослабленные деревья – наблюдается небольшая ажурность крон или тусклость листвы (хвои); прирост нормальный для данной породы и условий произрастания	4
Больные деревья – ажурность крон значительна ( $\approx 30\%$ ), могут быть хорошо заметные следы смолоподтеков (у хвойных) или сокотечения (у лиственных пород)	3
Отмирающие деревья – живых элементов в кроне $\approx 75\%$ , на стволе могут быть следы жизнедеятельности стволовых насекомых, прежде всего короедов или златок; прирост отсутствует	2
Отмершие деревья – без признаков жизни; обычные следы жизнедеятельности стволовых насекомых	1

Примечание. Статистические данные достоверны при уровне значимости 0,05.

Оценку влияния факториальных групп на жизнеспособность насаждений проводили по схеме трехфакторного комплекса (табл. 2).

Таблица 2

## Схема трехфакторного дисперсионного анализа

Фактор <i>B</i> – окружающая среда	Фактор <i>A</i> – популяция патогена			
	<i>A</i> <sub>1</sub>		<i>A</i> <sub>2</sub>	
	Фактор <i>C</i> – популяция хозяйного растения			
	<i>C</i> <sub>1</sub>	<i>C</i> <sub>2</sub>	<i>C</i> <sub>1</sub>	<i>C</i> <sub>2</sub>
<i>B</i> <sub>1</sub>	<i>V</i> <sub>1-3</sub>	<i>V</i> <sub>4-6</sub>	<i>V</i> <sub>7-9</sub>	<i>V</i> <sub>10-12</sub>
<i>B</i> <sub>2</sub>	<i>V</i> <sub>13-15</sub>	<i>V</i> <sub>16-18</sub>	<i>V</i> <sub>19-21</sub>	<i>V</i> <sub>22-24</sub>
<i>B</i> <sub>3</sub>	<i>V</i> <sub>25-27</sub>	<i>V</i> <sub>28-30</sub>	<i>V</i> <sub>31-33</sub>	<i>V</i> <sub>34-36</sub>
<i>B</i> <sub>4</sub>	<i>V</i> <sub>37-39</sub>	<i>V</i> <sub>40-42</sub>	<i>V</i> <sub>43-45</sub>	<i>V</i> <sub>46-48</sub>

Примечание. *V* – жизнеспособность насаждения, определяемая в каждом варианте в трех повторностях.

## Результаты исследования и их обсуждение

Сравнительная сила влияния ( $\eta^2$ ) трех факториальных групп (рис. 1) на жизнеспособность насаждений представлена в табл. 3.

Таблица 3

## Сила влияния трех групп факторов на патогенез

Факториальная группа	$F_{\text{факт}}$	$\eta^2$
<i>A</i> – популяция патогена	56,24	0,16
<i>B</i> – окружающая среда	197,42	0,73
<i>C</i> – популяция хозяйного растения	147,50	0,09

Примечание. Критерий Фишера теоретический  $F_{05} = 4,17$ .

Как следует из табл. 3, по силе влияния за период исследований доминировала факториальная группа *B* – окружающая среда ( $\eta^2 \approx 0,73$ ). Другие группы факторов играли модифицирующую роль. Многообразие изменяющихся факторов влияния обуславливает вероятностный характер прогноза патогенеза. Детерминированность прогноза патогенеза достигалась в достаточно гетерогенных насаждениях и была вероятностной в гомогенных. В гетерогенных насаждениях активность патогенеза оставалась в период наблюдений стабильно низкой.

Практический вывод заключается в том, что в условиях Среднерусской лесостепи необходимо повсеместно переходить от наиболее распространенных гомогенных насаждений к гетерогенным. В зависимости от условий произрастания предлагаются два варианта формирования насаждений (рис. 2, 3).

Схема дубово-сосново-березовой квадрогруппы (рис. 2) рекомендуется для условий свежей судубравы *C*<sub>2</sub>. В таком насаждении подавляются популяции важнейших патогенных грибов – мучнистой росы (*Erisiphe alphitoides*) и корневой губки (*Heterobasidion annosum*). Совокупность квадрогрупп формирует мозаичность – по сути неоднородность лесной экосистемы, вызванную относительно равномерным расположением в сообществе двух или более типов парцелл. Каждая парцелла является структурной частью биогеоценоза, имеющего определенный состав компонентов, структуру, специфику связей.

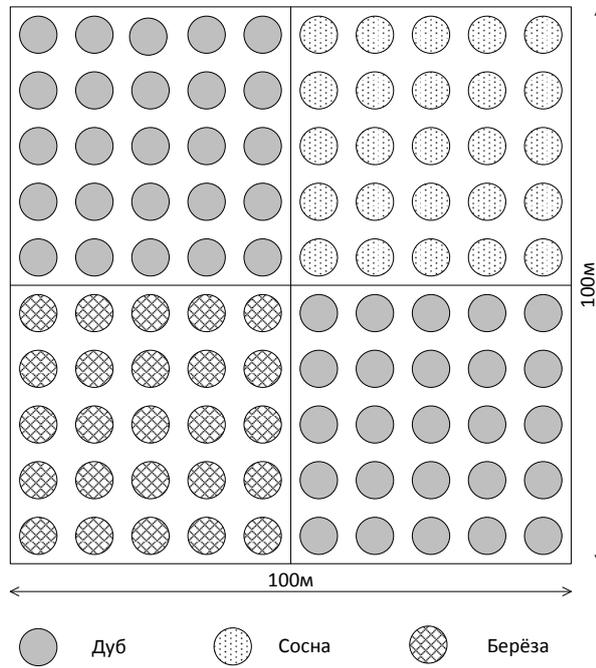


Рис. 2. Схема дубово-сосново-березовой квадрогруппы

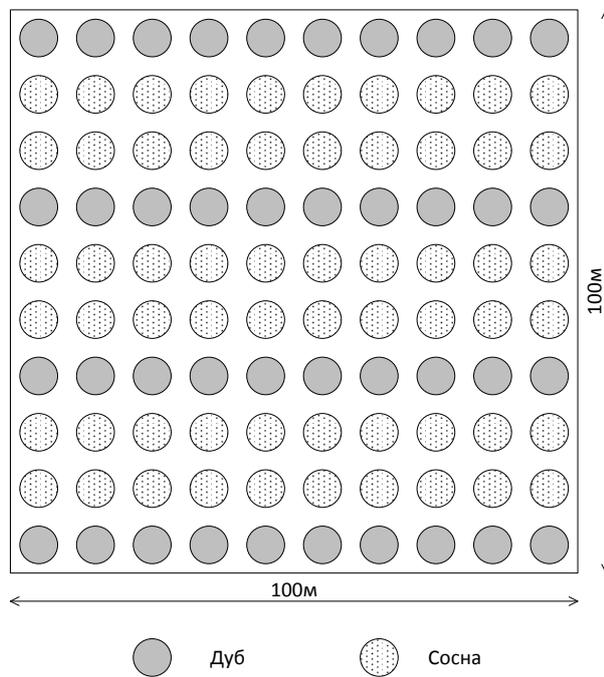


Рис. 3. Схема сосново-дубового насаждения

Парцеллярность способствует развитию авторегуляции в биологических системах, групповое размещение деревьев повышает биорезистентность насаждений [5], их устойчивость к неблагоприятным факторам окружающей среды.

В квадрогруппе затрудняется перемещение спор патогенных грибов. Случайно возникающие микроочаги патогенов локальны и постепенно затухают, поскольку в них формируется инбридинг [2]. Подавление популяций патогенных организмов в условиях макробиогрупп отмечено в работах А.К. Артюховского и др. [4], Б.М. Алимбека [1], Ю.А. Арефьева [6].

В прогалинах между биогруппами дуба, сосны и березы формируется естественный биоценоз, повышающий общее биоразнообразие [3, 7], а следовательно, и устойчивость насаждений. Прогалины и предложенный состав древесных пород способствуют микоризообразованию. Микоризные древесные растения более устойчивы к инфекционным болезням, недостатку воды и питания.

Схема сосново-дубовых линейных насаждений (рис. 3) рекомендуется для борových условий  $A_2$ . Данная структура древостоя надежно защищает сосну от корневой губки (*H. annosum*). Мощные корневые системы дуба черешчатого переплетают поверхностные корневые системы сосны обыкновенной, удерживают деревья сосны от раскачивания, способствуют заживлению язв корневой губки (рис. 4).

Расстояния между деревьями в квадрогруппах преимущественно 120 см, но могут изменяться в зависимости от конкретных условий произрастания. Густота посадки также может значительно варьировать, но остается в пределах 5...6 тыс. шт. / га.



Рис. 4. Переплетение корней сосны (слева) и дуба (справа), способствующее выживанию сосны в очагах корневой губки

*Заключение*

Экотонный характер насаждения способствует развитию и распространению эктомикоризных грибов, естественному микоризообразованию. Экотоны – реальные дискретные структуры растительного покрова, имеющие специфические свойства. В их пределах могут формироваться особые, часто со сложной мозаичной экологической структурой, типы местообитания. Эти особенности обуславливают формирование видовых комплексов и группировок. В экотонах изменяются популяционные характеристики биологических видов. В сосново-дубовых экотонах корни дуба, переплетаясь с корнями сосны, формируют общую корневую систему, удерживают деревья сосны от расшатывания ветром и ветровала.

Предложенные модели формирования насаждений древесных растений создают основу для автоматического контроля системного патогенеза. Поведение сложных динамических лесных экосистем контролируется прежде всего составом древесных пород и структурой насаждения. Особенно чувствительны такие биосистемы к их начальному состоянию.

Таким образом, проблема контроля патогенеза в лесных динамических экосистемах решается через формирование гетерогенных насаждений, устойчивых к внешним и внутренним изменениям. В гомогенных насаждениях патогенез практически непредсказуем и трудно контролируем.

Изложенный подход к формированию лесных насаждений прошел многолетнюю апробацию в условиях Среднерусской лесостепи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алимбек Б.М.* Механизированные равномерно-групповые рубки как средство улучшения состояния и продуктивности дубрав Казанского Поволжья // Состояние и пути улучшения дубрав РСФСР. Воронеж: Воронеж. гос. ун-т, 1975. С. 70–84.
2. *Арефьев Ю.Ф.* Инбридинг как фактор регуляции патогенеза в лесных экосистемах // Материалы V Междунар. науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы биологии, нанотехнологий и медицины». Ростов н/Д., 2013. С. 422–433.
3. *Арефьев Ю.Ф.* Энтропия как мера биоразнообразия в лесных экосистемах // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2013. № 5. С. 341–344.
4. *Артюховский А.К., Скрыпников В.Н., Арефьев Ю.Ф.* К вопросу создания в очагах корневой губки сосновых насаждений, устойчивых к грибной инфекции // Сосновые леса России в системе многоцелевого лесопользования: сб. ст. Воронеж: Воронеж. лесотехн. ин-т, 1993. С. 76–78.
5. *Харченко Н.А., Арефьев Ю.Ф.* Эффект группы в повышении биорезистентности насаждений // Лесн. журн. 1999. № 6. С. 18–21. (Изв. высш. учеб. заведений).
6. *Arefjew Yu.F.* Genetisch-ökologische Aspekte des Forstschutzes // Der Wald. 1995. Vol. 7. S. 238–239.
7. *Ramos R.G., Olden K.* Gene-Environment Interactions in the Development of Complex Disease Phenotypes // Int. J. Environ. Res. Public. Health. 2008. Vol. 5(1). Pp. 4–11.

Поступила 30.01.17

UDC 630\*165.3

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.61

### **Prediction and Control of Pathogenesis in Forest Ecosystems**

*Yu.F. Aref'ev, Doctor of Biological Sciences, Professor*

*M.M. Mamedov, Candidate of Biological Sciences, Assistant*

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, ul. Timiryazeva, 8, Voronezh, 394087, Russian Federation; e-mail: arefjev@voronezh.net

The pathogenesis prognosis in the forest, mainly homogeneous ecosystems, is always probabilistic due to its multifactorial nature. A sufficiently high degree of the forecast determinancy is possible in more complex heterogeneous plantations. In the complex forest ecosystems, the probabilistic forecast of pathogenesis is replaced by a prediction that is close to the deterministic one, which can be the basis for the pathogenesis controlling. The epiphytotic unpredictability is characteristic for homogeneous forest plantations, while smooth predictably pathogenesis fluctuating is typical for heterogeneous plantations. In this case, pathogens often pass to saprotrophic nutrition. This phenomenon is especially characteristic for highly heterogeneous mosaic plantations. The hierarchy of goals of this work is to ensure the effective control of pathogenesis through a sufficiently deterministic forecast and to suggest conceptual models for the formation of plantations resistant to pathogenic organisms. Forest plantations as the biological systems are characterized by increased complexity and dynamism. The influence of many changing factors on the pathogenesis creates the state of chaos, widespread in nature. The relevant objective is to transform the chaotic behavior of forest ecosystems into a regulated process. The long-term pathogenesis predictions should become less dependent on external influences and be determined mainly by internal factors of the biosystem. The research methodology is based on the application of a three-factor analysis of the effect of the studied factorial groups on the viability of plantations. The studies were carried out in stands of the various heterogenetic level in the Middle Russian forest steppe during the last 10 years. The environment dominated according to the influence strength. Factors of influence of the pathogen population and the host plants population were modifying. We recommend to change the conventional homogeneous plantations in the Central Russian forest-steppe for heterogeneous ones to make the long-term pathogenesis predictions less dependent on external influences but more on internal factors of biosystems.

*Keywords:* pathogenesis control, forest ecosystem, forest disease.

### REFERENCES

1. Alimbek B.M. Mekhanizirovannye ravnomerno-gruppovyye rubki kak sredstvo uluchsheniya sostoyaniya i produktivnosti dubrav Kazanskogo Povolzh'ya [Mechanized Group Cutting as a Means of Improving the Condition and Productivity of the Oak Forests in the Kazan Volga Region]. *Sostoyanie i puti uluchsheniya dubrav RSFSR* [The Condition and Ways to Improve the Oak Forests of the RSFSR]. Voronezh, 1975, pp. 70–84.

---

*For citation:* Aref'ev Yu.F., Mamedov M.M. Prediction and Control of Pathogenesis in Forest Ecosystems. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 3, pp. 61–69. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.61

2. Aref'ev Yu.F. Inbriding kak faktor regulyatsii patogeneza v lesnykh ekosistemakh [Inbreeding as a Regulation Factor of Pathogenesis in Forest Ecosystems]. *Materialy V Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Aktual'nye problemy biologii, nanotekhnologiy i meditsiny»* [Proc. 5th Intern. Sci. Prac. Conf. "Actual Problems of Biology, Nanotechnology and Medicine"]. Rostov-on-Don, 2013, pp. 422–433.

3. Aref'ev Yu.F. Entropiya kak mera bioraznoobraziya v lesnykh ekosistemakh [Entropy as a Measure of Biodiversity of the Forest Ecosystems]. *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Analysis and Synthesis of Complex Systems in Nature and Technology], 2013, no. 5, pp. 341–344.

4. Artyukhovskiy A.K., Skrypnikov V.N., Aref'ev Yu.F. K voprosu sozdaniya v ochagakh kornevoy gubki osnovnykh nasazhdeniy, ustoychivyykh k gribnoy infektsii [On the Issue of Creating of Pine Plantations Resistant to Fungus Infection in the Centers of Pine Fungus]. *Sosnovye lesa Rossii v sisteme mnogotselevogo lesopol'zovaniya* [Pine Forests of Russia in the System of Multipurpose Forest Management]. Voronezh, 1993, pp. 76–78.

5. Kharchenko N.A., Aref'ev Yu.F. Effekt gruppy v povyshenii biorezistentnosti nasazhdeniy [The Group Effect in Increasing the Bio-Resistance of Plantations]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 1999, no. 6, pp. 18–21.

6. Aref'ev Ju.F. Genetisch-ökologische Aspekte des Forstschutyes. *Der Wald*, 1995, vol. 7, pp. 238–239.

7. Ramos R.G., Olden K. Gene-Environment Interactions in the Development of Complex Disease Phenotypes. *Int. J. Environ. Res. Public. Health*, 2008, vol. 5(1), pp. 4–11.

Received on January 30, 2017

---

УДК 630\*232.32(031)

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.70

## АГРОТЕХНИКА ВЫРАЩИВАНИЯ СЕЯНЦЕВ ЕЛИ СИБИРСКОЙ В ЗАБАЙКАЛЬСКОМ КРАЕ

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

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

**Е.А. Банщикова**, инж.

Институт природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения РАН, а/я 521, ул. Недорезова, д. 16 а, г. Чита, Россия, 672014; e-mail: pak\_lar@bk.ru

Ель сибирская (*Picea obovata*) на территории Забайкальского края занимает площадь около 10 тыс. га и произрастает во всех лесорастительных зонах, кроме степной. Чаще всего она формирует смешанные по составу насаждения с участием некоторых видов хвойных (кедр, пихта, сосна), а также мягколиственных древесных пород (береза, осина). С учетом морозоустойчивости и ввиду отсутствия соответствующей агротехники были проведены исследования по выращиванию сеянцев в питомнике Ингодинского лесного стационара Института природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения Российской академии наук в целях быстрого облесения вырубок и гарей, создания лесных культур. Установлены оптимальные агротехнические приемы выращивания ели сибирской. Испытание предпосевной обработки семян (18-часовое намачивание в 0,02 % растворе сернокислого цинка и снегование в течение 60 дн.) показало, что всхожесть семян увеличивается на 20...25 % по сравнению с контролем. Лучшая грунтовая всхожесть отмечена при посеве семян в начале второй декады мая, оттаивании почвы на глубину 20...25 см, ширине посевной строчки 5...6 см, глубине посева 2 см. Сеянцы лучше были защищены от ожога при направлении лент с севера на юг, частом поливе во время прорастания семян и по мере роста, а также при мульчировании сеянцев опилками толщиной до 1 см. Использование данных агротехнических приемов позволило увеличить высоту сеянцев на 70...80 %, выход стандартных сеянцев – на 127,2 % к плановому.

**Ключевые слова:** Забайкальский край, агротехника, питомник, выращивание, посадочный материал, ель сибирская.

### Введение

Ель сибирская (*Picea obovata*) на территории России естественно произрастает в средней тайге, от Архангельской до Магаданской областей [4–6, 10]. В Сибири она является одним из главных видов-лесообразователей. На территории Забайкальского края эта порода занимает площадь около 10 тыс. га и произрастает во всех лесорастительных зонах, кроме степной. Здесь она встречается по ключам, в поймах рек и мелких речек. Чистые насаждения ели, небольшие по площади, встречаются редко. Чаще всего она формирует

---

**Для цитирования:** Бобринев В.П., Пак Л.Н., Банщикова Е.А. Агротехника выращивания сеянцев ели сибирской в Забайкальском крае // Лесн. журн. 2017. № 3. С. 70–77. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.70

смешанные по составу насаждения с участием некоторых видов хвойных (кедр, пихта, сосна), а также мягколиственных (береза, осина) древесных пород. В благоприятных условиях достигает высоты 22...25 м. Растет по II–IV классам бонитета.

Климат района естественного произрастания ели сибирской – резко континентальный, с недостатком тепла и умеренным выпадением осадков. Средняя температура января –30...–33 °С, июля +16...+18 °С. В мае-июне выпадает до 100 мм осадков. Влажность воздуха не опускается ниже 40...45 %. В поймах мелких речек и ключей земля промерзает до 3,0...3,5 м. Мощность снежного покрова достигает 35...45 см. Годовая сумма осадков составляет 550...640 мм.

Ель сибирская – весьма морозоустойчивая древесная порода [8, 9]. С учетом этой особенности и отсутствия соответствующей агротехники в Забайкальском крае были проведены исследования по выращиванию семян ели сибирской в целях быстрого облесения вырубок и гарей, создания лесных культур.

#### *Объекты и методы исследования*

Исследования по выращиванию семян ели сибирской проводили в лесостепной зоне в базисном питомнике Читинского лесничества, расположенном рядом с Ингодинским лесным стационаром Института природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения РАН, в 40 км от г. Читы. Почвы питомника – слабоподзоленные супесчаные; степень обеспеченности азотом, фосфором – очень низкая, калием – средняя; реакция среды нейтральная (рН 6).

Сбор семян для закладки опытов осуществляли в Красночикоийском и Хилокском лесхозах. Масса 1000 шт. семян составляла 4,8...5,0 г, техническая всхожесть – 53...60 %. Предпосевную подготовку семян проводили путем 18-часового намачивания в 0,02 %-м растворе сернокислого цинка ( $ZnSO_4$ ) и снегования в течение 60 дн. [1–3, 7]. Перед посевом семена намачивали в 0,05 %-м растворе марганцовокислого калия ( $KMnO_4$ ) в течение 2 ч и протравливали в препарате ТМГД из расчета 6 г/кг семян. В качестве контроля использовали производственную предпосевную подготовку семян – 2-часовое намачивание в 0,5 %-м растворе  $KMnO_4$ .

Сеянцы ели выращивали по сидеральному пару. В качестве сидерата использовали овсяно-гороховую смесь (120 кг гороха + 60 кг овса на 1 га).

При заправке сидератов в августе в почву вносили 120 т/га торфо-минерального удобрения, приготовленного из низинного лугового торфа (рН 5–6) с добавлением на 1 т торфа 2 кг фосфора, 1 кг азота и 1 кг калия в растворенном виде.

В первый год с учетом динамики роста сеянцев проводили минеральные подкормки: в июле с внесением азота (40 кг/га); в августе – фосфора (80 кг/га) и калия (20 кг/га). Норма внесения удобрения приводится по действующему веществу.

Во второй год выращивания проводили уже трехкратную подкормку: ранней весной (II декада мая) с внесением азота (60 кг/га) и фосфора (40 кг/га);

в июле – фосфора (40 кг/га) и калия (20 кг/га); в августе – фосфора (40 кг/га) и калия (20 кг/га).

В третий год выращивания подкормки проводили ранней весной с внесением азота (60 кг/га) и фосфора (60 кг/га); в июле – фосфора (60 кг/га) и калия (30 кг/га); в августе – фосфора (40 кг/га) и калия (20 кг/га).

Контролем служил сидеральный пар без внесения торфо-минерального удобрения и без проведения последующих подкормок сеянцев.

Весной следующего года на участках была выполнена серия опытов по агротехнике выращивания сеянцев ели сибирской (см. таблицу).

**Влияние агротехнических приемов на рост 3-летних сеянцев ели сибирской в варианте с использованием сидерального пара, внесением торфо-минерального удобрения и проведением подкормок сеянцев**

Вариант опыта	Длина $M \pm m$ , см		Выход, млн шт. / га	
	стволика	корня	3-летних стандартных сеянцев	стандартных сеянцев к плановому
1. Подготовка семян:				
снегование 60 дн.	18,0 ± 0,8	18,3 ± 0,9	1,2	109,1
намачивание в ZnSO <sub>4</sub>	19,8 ± 0,9	19,3 ± 0,9	1,3	118,2
контроль (намачивание в KMnO <sub>4</sub> )	14,6 ± 0,7	14,4 ± 0,6	1,0	88,6
2. Сроки посевов:				
весна	20,3 ± 0,9	19,3 ± 0,9	1,3	118,2
лето	12,0 ± 0,5	17,6 ± 0,8	0,4	36,4
осень	11,1 ± 0,5	17,4 ± 0,8	0,4	36,4
3. Ширина посевной строчки, см:				
2...3	10,5 ± 0,4	16,9 ± 0,8	0,8	72,7
5...6	18,5 ± 0,8	18,4 ± 0,9	1,4	127,2
4. Норма высева, г:				
0,5	13,4 ± 0,5	17,6 ± 0,8	0,6	54,5
0,8	18,9 ± 0,8	18,0 ± 0,8	1,2	109,1
1,0	10,7 ± 0,4	17,8 ± 0,7	1,0	100,0
5. Глубина посева, см:				
1,0	12,6 ± 0,5	17,3 ± 0,7	0,7	63,6
2,0	19,4 ± 0,9	18,6 ± 0,8	1,3	118,2
3,0	14,9 ± 0,6	18,0 ± 0,8	1,0	100,0
6. Направление посевных лент:				
север-юг	19,4 ± 0,9	18,2 ± 0,9	1,2	109,1
запад-восток	13,3 ± 0,6	17,8 ± 0,8	0,8	72,7
7. Полив посевов, л/м <sup>2</sup> :				
10	17,5 ± 0,8	17,6 ± 0,8	1,1	100,0
20	15,6 ± 0,7	18,0 ± 0,8	0,7	63,6
8. Мульчирование посевов (1 см):				
почва	14,6 ± 0,6	17,5 ± 0,7	1,0	100,0
опилки	19,0 ± 0,7	18,7 ± 0,8	1,3	118,2
торф	15,1 ± 0,6	18,0 ± 0,7	0,9	81,8

Примечание:  $M$  – среднее арифметическое,  $m$  – ошибка среднего арифметического.

Семена высевали: весной – с момента оттаивания почвы на глубину 20...25 см (I декада мая); летом – перед началом выпадения летних дождей (III декада июня); осенью – свежесобранными семенами (III декада сентября). Испытывали: норму посева семян (0,5; 0,8; 1,0 г на погонный метр строчки); глубину посева (1,0; 2,0; 3,0 см); ширину строчки (2,0...3,0 см; 5,0...6,0 см); направление посадки (с севера на юг и с запада на восток); мульчирующий материал (почва, опилки, торф) при толщине слоя 0,5...1,0 см; норму полива (из расчета 10 и 20 л/м<sup>2</sup> на 1 га).

Из всех проведенных нами опытов по выращиванию сеянцев ели сибирской были отобраны те варианты, в которых сеянцы имели лучшие показатели роста и сохранности. Суммируя результаты опытов, получили технологию выращивания сеянцев ели сибирской в Забайкальском крае.

Все варианты закладывали в четырех повторностях. Каждая повторность состояла из 4 м (погонных) ленты 6-строчного посева. В каждом варианте у 400 сеянцев ели измеряли длину надземной части и корней, определяли выход стандартных сеянцев.

Норма выхода стандартных сеянцев для лесостепной зоны Забайкальского края – 1,1 млн шт./га, стандартными считаются сеянцы ели, достигшие высоты 12 см. Результаты исследований обрабатывали методом математической статистики.

#### *Результаты исследования и их обсуждение*

Испытание указанных способов предпосевной обработки семян ели сибирской показало, что их грунтовая всхожесть в вариантах при 18-часовом намачивании в 0,02 %-м растворе сернокислого цинка (ZnSO<sub>4</sub>) и снеговании в течение 60 дн. увеличивается на 20...25 % по сравнению с контрольным вариантом. Кроме того, в результате предпосевной обработки всходы появляются на 6...8 дн. раньше по сравнению с контролем, что очень важно в условиях короткого вегетационного периода. Норма посева семян при такой подготовке снижается на 8...10 кг/га.

Крупномерные 3-летние сеянцы ели были получены в варианте с внесением компоста и проведением подкормок сеянцев удобрениями. Выход стандартных сеянцев к плановому в этом варианте превышал контроль на 60 %.

На всхожесть и рост сеянцев влияют сроки посева. У ранних весенних посевов всходы повреждаются поздними весенними заморозками. Оптимальным сроком весенних посевов в местных условиях оказалась первая декада мая при оттаивании почвы на глубину 20...25 см. Появляются ранние дружные всходы, которые к началу наступления высоких температур успевают окрепнуть, имеют продолжительный срок развития в первый год выращивания и более устойчивы при перезимовке. Сеянцы летних посевов не успевают закончить рост и подготовиться к зиме, поэтому часто вымерзают. Осенние посевы не дают всходов осенью, ранней весной появляются изреженные всходы, которые повреждаются заморозками. Поэтому в местных условиях летние и осенние посевы проводить нецелесообразно.

Ширина посевной строки влияет на грунтовую всхожесть семян и выход стандартных сеянцев. Всходы при широкострочных посевах свободно поднимают над посевами взрыхленную почву вместе с опилками (почва при поливах оседает между всходами). При узкострочных посевах этого не происходит: при появлении всходов образуется бугорок, который сильно нагревается в солнечные дни, что приводит к гибели сеянцев.

Большое значение при выращивании сеянцев ели имеет норма посева. Нужно экономно использовать дорогие семена. У ели семена мелкие: масса 1000 шт. – 4,8...5,0 г. Из всех проведенных вариантов выделяется вариант с посевом 0,8 г семян на 1 м (погонном) строчки (150...160 семян). При этом выход стандартных 3-летних сеянцев составляет 1,2 млн / га.

На грунтовую всхожесть семян и выход сеянцев влияет глубина посева. Очень глубокий посев снижает грунтовую всхожесть. В то же время неглубокий посев приводит к их смыву во время полива или сильных дождей. Поэтому оптимальная глубина, установленная для ели, составляет 2 см.

В местных условиях направление посевных лент также влияет на выход стандартных сеянцев. Сеянцы, посеянные с направлением лент с севера на юг, хорошо развиваются, отеняют в полдень друг друга, так как открытыми являются только верхние хвоинки и верхушечная почка, меньше повреждаются при перезимовке. Использование направления посевных лент с запада на восток приводит к тому, что в полдень сеянцы бывают полностью открытыми, в том числе бывает открыта и почва, которая быстро сохнет и сильно нагревается, они чаще подвергаются ожогам и иссушению при перепадах температур.

Мульчирование посевов проводится для предохранения верхнего слоя почвы от выдувания, иссушения, уплотнения при поливах, что в жаркое время суток снижает температуру поверхности почвы и предохраняет сеянцы от ожогов. Мульчирование торфом повышает температуру поверхности почвы и сохраняет влажность. При отсутствии мульчи поверхностный слой почвы после полива высыхает за 2-3 дн. на глубину заделки семян, при мульчировании опилками – за 4-5 дн. При заморозках весной на замульчированной почве температура бывает на 3...4 °С выше, чем на открытом участке. Мульчирующий слой не должен превышать 1 см. Для закаливания однолетних сеянцев перед суровой зимой в середине августа рекомендуется проводить мульчирование торфом. Этот прием продлевает вегетационный период.

В условиях Забайкалья организация полива в питомниках является необходимым приемом, без которого невозможно вырастить посадочный материал.

Нами выделено три периода роста саженцев: первый – с момента посева и появления массовых всходов следует поливать через 2-3 дн. из расчета 10 л/м<sup>2</sup> (100 м<sup>3</sup>/га); второй – полив необходимо проводить через 3-4 дн., норма полива 20 л/м<sup>2</sup>; третий (подготовка сеянцев к зиме) – проводится влагозарядковый полив из расчета 120...150 м<sup>3</sup>/га два раза через 5-7 дн.

Весной перед посевом иногда верхний слой почвы сильно пересыхает. Поэтому полив на паровом поле нужно проводить за 5-7 дн. до посева семян из расчета 150...170 м<sup>3</sup>/га.

На второй и третий год выращивания рост сеянцев ели в высоту начинается в начале II декады мая и заканчивается в первой половине августа. В это время потребность сеянцев во влаге очень большая, осадков иногда выпадает мало и они нерегулярны. Оптимальная норма полива в такой период – до 150 м<sup>3</sup>/га в неделю.

На второй год выращивания в середине лета (в период дождей) нужно проводить изреживание посевов, оставляя на 1 м (погонном) строчки 65...70 сеянцев ели (при 4-строчном посеве по схеме 30-30-30-70 см на 1 га – 25 тыс. м (погонных) строчек).

Учитывая направление посевных лент с севера на юг, мульчирование посевов опилками весной и проведение регулярных поливов, сеянцы ели на питомнике выращивают без отенения.

При проведенной подкормке высота трехлетних сеянцев увеличивается на 70...80 %, масса – в 3 раза, выход стандартных сеянцев – на 127,2 % к плановому.

#### *Заключение*

Сеянцы ели сибирской, выращенные на хорошо удобренной почве и получавшие минеральную подкормку в течение 3 лет, быстро растут в высоту и имеют хорошую корневую систему. Широкострочные посевы с направлением посевных строк с севера на юг, мульчирование и полив посевов дают возможность отказаться от дорогостоящего отенения. Все это позволяет увеличить выход сеянцев с единицы площади и снизить себестоимость их выращивания.

Разработанная агротехника выращивания сеянцев ели сибирской найдет широкое применение при выращивании посадочного материала в Забайкальском крае.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бобринев В.П. Ускоренное выращивание древесных пород. Новосибирск: Наука, 1987. 191 с.
2. Бобринев В.П., Пак Л.Н. Лесные стационарные исследования в Забайкальском крае. Чита: Поиск, 2011. 492 с.
3. Бобринев В.П., Пак Л.Н. Размножение и выращивание древесных растений в Читинской области. Чита: Поиск, 2005. 380 с.
4. Коропачинский И.Ю., Потемкин О.Н., Рудиковский А.В., Кузнецова Е.В. Полиморфизм и структура популяций ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) на северном пределе распространения вида // Сиб. экол. журн. 2012. № 2. С. 175–184.
5. Мамаев С.А., Попов П.П. Ель сибирская на Урале (Внутривидовая изменчивость и структура популяций). М.: Наука, 1989. 104 с.
6. Молотков П.И., Патлай И.Н., Давыдова Н.И., Щепотьев Ф.Л., Ирошников А.И., Мосин В.И., Рирагс Д.М., Милютин Л.И. Селекция лесных пород. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 223 с.
7. Степанов Л.И., Яркин В.П., Сандомирский Ю.А., Постнова Н.И., Грибачев В.Г., Анциферова К.П., Цебрикова Г.М. Наставление по выращиванию посадочного материала древесных и кустарниковых пород в лесных питомниках РСФСР. М.: Лесн. пром-сть, 1979. 176 с.

8. *D'amato A.W., Bradford J.B., Fraver S., Palik B.J.* Forest Management for Mitigation and Adaptation to Climate Change: Insights From Long-Term Silviculture Experiments // *Forest ecology and management*. 2011. No. 262. Pp. 803–816.

9. *James T.M.* Temperature Sensitivity and Recruitment Dynamics of Siberian larch (*Larix sibirica*) and Siberian spruce (*Picea obovata*) in Northern Mongolia's Boreal Forest // *Forest Ecology and Management*. 2011. No. 262. Pp. 629–636.

10. *Peterson L.K., Bergen K.M., Brown D.G., Vashchuk L., Blam Y.* Forested Land-cover Patterns and Trends Over Changing Forestmanagement Eras in the Siberian Baikal Region // *Forest Ecology and Management*. 2009. No. 257. Pp. 911–922.

Поступила 16.01.17

UDC 630\*232.32(031)

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.70

### **Agricultural Technology of Cultivation of Siberian Spruce Seedlings in the Trans-Baikal Territory**

**V.P. Bobrinev**, *Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher*  
**L.N. Pak**, *Candidate of Agricultural Sciences, Senior Research Officer*  
**E.A. Bانشchikova**, *Engineer*

Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology of the Siberian Branch of the RAS, ul. Nedorezova, 16 a, POB 521, Chita, 672014, Russian Federation; e-mail: pak\_lar@bk.ru

Siberian spruce (*Picea obovata*) covers an area of about 10 thousand hectares in the Trans-Baikal Territory and grows in all forest areas, except for the steppe zone. Most often it forms mixed plantings, with the participation of some species of conifers (cedar, fir, pine), as well as softwood species (birch, aspen). Considering the frost resistance and the lack of appropriate agrotechnical equipment, we conducted the research on Siberian spruce seedling growing in the nursery of the Ingodinsk forestry station of the Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences in order to afforest the felling and burnt areas, and to create forest crops. The optimal agricultural methods for Siberian spruce growing were established. The pre-seeding seed treatment test (18-hour steeping in a 0.02 % solution of zinc sulfate and snowing for 60 days) showed the increasing of seed germination by 20...25 % compared to the control. The best field germination was noted during seeds sowing in the beginning of the second decade of May, thawing of soil to a depth of 20...25 cm, the width of the sowing line of 5...6 cm, the seeding depth of 2 cm. The seedlings were better protected from burn at the seedtape direction from north to south, frequent watering during the seed germination and in the wake of rising, as well as sawdust mulching of seedlings up to 1 cm thick. The use of the agricultural methods data allowed us to increase the height of seedlings by 70...80 %, the yield of standard seedlings – by 127.2 % to the planned one.

*Keywords:* Trans-Baikal territory, agricultural technology, nursery, cultivation, planting material, Siberian spruce.

---

*For citation:* Bobrinev V.P., Pak L.N., Bانشchikova E.A. Agricultural Technology of Cultivation of Siberian Spruce Seedlings in the Trans-Baikal Territory. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 3, pp. 70–77. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.70

REFERENCES

1. Bobrinev V.P. *Uskorennoe vyrashchivanie drevesnykh porod* [Accelerated Cultivation of Wood Species]. Novosibirsk, 1987. 191 p.
2. Bobrinev V.P., Pak L.N. *Lesnye statsionarnye issledovaniya v Zabaykal'skom krae* [Forest Stationary Research in the Trans-Baikal Territory]. Chita, 2011. 492 p.
3. Bobrinev V.P., Pak L.N. *Razmnozhenie i vyrashchivanie drevesnykh rasteniy Chitinskoj oblasti* [Reproduction and Cultivation of Woody Plants in the Chita Region]. Chita, 2005. 380 p.
4. Koropachinskiy I.Yu., Potemkin O.N., Rudikovskiy A.V., Kuznetsova E.V. Polimorfizm i struktura populyatsiy eli sibirskoy (*Picea obovata* Ledeb.) na severnom predele rasprostraneniya vida [Polymorphism and Structure of Siberian Spruce (*Picea obovata* Ledeb.) Populations at the Northern Limits of the Species Distribution]. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal* [Contemporary Problems of Ecology], 2012, no. 2, pp. 175–184.
5. Mamaev S.A., Popov P.P. *El' sibirskaya na Urale (Vnutrividovaya izmenchivost' i struktura populyatsiy)* [Siberian Spruce in the Urals (Intraspecific Variability and Structure of Populations)]. Moscow, 1989. 104 p.
6. Molotkov P.I., Patlay I.N., Davydova N.I., Shchepot'ev F.L., Iroshnikov A.I., Mosin V.I., Pirags D.M., Milyutin L.I. *Selektsiya lesnykh porod* [Selection of Forest Species]. Moscow, 1982. 224 p.
7. Stepanov L.I., Yarkin V.P., Sandomirskiy Yu.A., Postnova N.I., Gribachev V.G., Antsiferova K.P., Tsebrikova G.M. *Nastavlenie po vyrashchivaniyu posadochnogo materiala drevesnykh i kustarnikovykh porod v lesnykh pitomnikakh RSFSR* [Manual on the Cultivation of Planting Material of Wood and Shrubby Species in the Forest Nurseries of the RSFSR]. Moscow, 1979. 176 p.
8. D'amato A.W., Bradford J.B., Fraver S., Palik B.J. Forest Management for Mitigation and Adaptation to Climate Change: Insights From Long-Term Silviculture Experiments. *Forest Ecology and Management*, 2011, no. 262, pp. 803–816.
9. James T.M. Temperature Sensitivity and Recruitment Dynamics of Siberian Larch (*Larix sibirica*) and Siberian Spruce (*Picea obovata*) in Northern Mongolia's Boreal Forest. *Forest Ecology and Management*, 2011, no. 262, pp. 629–636.
10. Peterson L.K., Bergen K.M., Brown D.G., Vashchuk L., Blam Y. Forested Land-Cover Patterns and Trends over Changing Forest Management Eras in the Siberian Baikal Region. *Forest Ecology and Management*, 2009, no. 257, pp. 911–922.

Received on January 16, 2017

УДК 630\*232.411.11

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.78

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ КУЛЬТУР СОСНЫ И ЕЛИ

*Н.Р. Сунгурова<sup>1</sup>, канд. с.-х. наук, доц.*

*Н.А. Бабич<sup>1</sup>, д-р с.-х. наук, проф.*

*Р.В. Сунгуров<sup>2</sup>, канд. с.-х. наук, доц., ст. науч. сотр.*

*В.К. Любов<sup>1</sup>, д-р техн. наук, проф.*

*А.Н. Попов<sup>1</sup>, инж.*

<sup>1</sup>Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002;

e-mail: nsungurova@yandex.ru, v.lubov@narfu.ru, a.n.popov@narfu.ru

<sup>2</sup>Северный НИИ лесного хозяйства, ул. Никитова, д. 13, г. Архангельск, Россия, 163062; e-mail: sungurov51@yandex.ru

В настоящее время более половины заготавливаемой в мире древесины используется в энергетике главным образом для получения тепла. По современным оценкам, биомасса является самым мощным после солнца возобновляемым экологически чистым источником энергии. Цель работы – определение теплоты сгорания различных фракций надземной фитомассы в культурах сосны и ели, произрастающих в северо-таежном районе Архангельской области. Полученные данные использовали для установления количества солнечной энергии, аккумулированной фракциями фитомассы. Энергетический потенциал изучаемых культур сосны и ели рассчитывали по низшей теплоте сгорания фитомассы, так как в России она принята в качестве основного показателя энергетической ценности топлива. Установлено, что относительное количество солнечной энергии, фиксированной отдельными частями древесного яруса в культурах как сосны, так и ели, различно. Больше всего энергии аккумулируется древесиной (сосна – 70,0, ель – 59,1 %). Наименьший показатель энергетической продуктивности отмечен у фракции «сухие сучья» (соответственно 2,8 и 3,3 %). Результаты исследований могут быть использованы при разработке карт пожарной безопасности лесов, обосновании правильного выбора дозы огнегасящих химических средств и воды при тушении, а также комплекса необходимых профилактических противопожарных мероприятий. Полученные данные позволяют оценивать энергетический потенциал традиционно неиспользуемых фракций фитомассы, намечать пути их энергетического применения, а также являются основой для составления энергетического баланса лесных сообществ и изучения потока энергии в лесных экосистемах таежной зоны.

*Ключевые слова:* лесные культуры, сосна, ель, надземная фитомасса, теплота сгорания, энергетический потенциал.

### *Введение*

Развитие биоэнергетики в России является актуальной государственной задачей снижения энергозависимости производств, особенно удаленных от

---

*Для цитирования:* Сунгурова Н.Р., Бабич Н.А., Сунгуров Р.В., Любов В.К., Попов А.Н. Энергетический потенциал культур сосны и ели // Лесн. журн. 2017. № 3. С. 78–84. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.78

мест добычи газа, нефти, каменного угля. Исходным сырьем для получения биотоплива в твердом, жидком и газообразном состояниях служит фитомасса, которая аккумулирует солнечную энергию в виде углеводов растительного происхождения [10].

Опыт Архангельской области показывает, что дизельное топливо на электростанциях с успехом может быть заменено альтернативными источниками энергии (отходами лесопиления, биотопливом). Кроме того, необходимо не забывать также энергию, получаемую на гидро- и приливных электростанциях. Такая замена экономически эффективна для населенных пунктов, удаленных более чем на 20...30 км от центральных линий электропередачи [11].

Цель работы – определение теплоты сгорания различных фракций надземной фитомассы в культурах сосны и ели, произрастающих в северо-таежном районе Архангельской области, для установления количества солнечной энергии, аккумулированной фракциями фитомассы.

#### *Объекты и методы исследования*

Обследованы лесные культуры сосны и ели, созданные на долгомошной вырубке в северо-таежном районе Архангельской области. Их таксационная характеристика приведена в табл. 1.

Таблица 1

#### **Таксационная характеристика 36-летних культур сосны и ели**

Культуры	Высота, м	Диаметр, см	Сохранность, %	Класс бонитета	Полнота	Запас, м <sup>3</sup> /га
Сосны	15,3±0,01	17,5±0,02	55,2	II	1,24	350
Ели	7,1±0,02	8,0±0,01	62,7	III	1,31	75

Примечание. Диаметр и высота приведены с ошибкой определения.

При изучении надземной фитомассы древесного яруса культур сосны и ели выделяли следующие фракции: ветви, кору, древесину ствола, сухие сучья, древесную зелень. Соотношение фракций надземной фитомассы (в свежем состоянии) в лесных культурах представлено в табл. 2.

Таблица 2

#### **Соотношение фракций (%) надземной фитомассы в 36-летних культурах сосны и ели**

Фракция фитомассы	Культуры	
	сосны	ели
Ветви	10,3	4,6
Кора	8,4	10,1
Древесина ствола	71,1	60,7
Сухие сучья	2,6	3,2
Древесная зелень	7,6	21,4
<i>Итого</i>	100,0	100,0

Теплоту сгорания фракций фитомассы культур сосны и ели определяли с помощью калориметра немецкой фирмы «IKA WERKE» модели C 2000 basic Version 2 с бомбой C 5012, предназначенной для сжигания твердого и жидкого топлива и устойчивой к воздействию галогенов [8].

*Результаты исследования и их обсуждение*

По найденным значениям высшей теплоты сгорания на горючую массу (табл. 3) рассчитывали низшую теплоту сгорания на рабочую и горючую массу средних проб фитомассы при влажности и зольности, характерных для свежесрубленного состояния.

Таблица 3

**Теплота сгорания (ккал/кг) по фракциям надземной фитомассы в 36-летних культурах сосны и ели**

Фракция фитомассы	Теплота сгорания		
	высшая на горючую массу	низшая	
	на рабочую массу	на горючую массу	
<i>Культуры сосны</i>			
Ветви	5287	2333	4887
Кора	5161	3648	4762
Древесина ствола	5060	3415	4661
Сухие сучья	5618	3975	5219
Древесная зелень	5390	2153	4991
<i>Культуры ели</i>			
Шишки	4850	1276	4462
Ветви	5147	187	4759
Кора	5212	2810	4824
Древесина ствола	4909	3476	4520
Сухие сучья	5192	4054	4803
Древесная зелень	5253	2403	4864

Сравнивая значения теплоты сгорания (табл. 3) с приведенными в литературных источниках (табл. 4), можно сделать вывод, что полученные нами значения являются средними. Так, наибольшим количеством фиксированной (аккумулированной) солнечной энергии в культурах сосны обладают сухие сучья, в культурах ели – древесная зелень, наименьшим – стволовая древесина. Это заключение подтверждают расчеты Н.И. Казиминова с соавт. [6]. В других работах [1, 5–7, 9] отмечается, что наименьшее количество аккумулированной энергии сосредоточено в коре.

Энергетический потенциал изучаемых культур сосны и ели (табл. 5) рассчитан по низшей теплоте сгорания фитомассы, так как в России она принята в качестве основного показателя энергетической ценности топлива.

Таблица 4

**Теплотворная способность (ккал/кг) горючего материала сосны и ели  
по данным различных исследователей**

Фракция фитомассы	По Н.И. Казимирову и др. (1977) [6]	По Н.П. Курбатскому (1962) [7]	По А.А. Молчанову (1971) [9]	По В.П. Дадыкину и др. (1975) [5]	По Н.А. Бабичу и др. (2010) [1]
Ветви сосны	4990	4927	–	–	4959
Кора сосны	4887	4825	4815	–	4842
Древесина:					
сосны	4870	–	4921	4809...5024	4903
ели	4830	–	4899	4729	–
Хвоя:					
сосны	5148	5226	5210	–	5195
ели	5108	–	5029	–	–

Н.А. Бабиц, Д.Н. Клевцов, И.В. Евдокимов [1], изучавшие степень использования солнечной энергии 40-летними посевами сосны в южной подзоне тайги, в сосняке лишайниковом отмечали минимальное количество энергии, депонированной древесиной (726,20 ГДж/га), в сосняке черничном – максимальное (2955,29 ГДж/га). По мнению тех же авторов, относительное количество фиксированной солнечной энергии в культурах сосны аккумулируется древесиной (67 %), сухими сучьями (4 %), ветвями (8 %), древесной зеленью (13 %) и корой (9 %).

Таблица 5

**Энергетический потенциал (ГДж/га)  
по фракциям надземной фитомассы в 36-летних культурах сосны и ели**

Фракция фитомассы	Культуры	
	сосны	ели
Ветви	<u>973,12</u>	<u>105,80</u>
	10,7	4,6
Кора	<u>770,59</u>	<u>237,32</u>
	8,4	10,5
Древесина ствола	<u>6398,67</u>	<u>1333,41</u>
	70,0	59,1
Сухие сучья	<u>257,84</u>	<u>74,40</u>
	2,8	3,3
Древесная зелень	<u>737,01</u>	<u>507,28</u>
	8,1	22,5
<i>Итого</i>	<u>9137,23</u>	<u>2258,21</u>
	100,0	100,0

Примечание. В знаменателе приведено значение энергетической продуктивности в процентах.

Согласно данным, приведенным в табл. 5, культуры сосны, созданные на долгомошной вырубке, аккумулируют 9137,23 ГДж/га солнечной энергии, культуры ели – 2258,21 ГДж/га.

Обследовав в средней подзоне тайги сосняки-черничники искусственного происхождения, Н.А. Бабич и В.К. Любов [2] установили, что в возрасте 20, 30 и 40 лет депонированная надземной фитомассой солнечная энергия составляет соответственно 627, 1609 и 2995 ГДж/га.

Изучение теплотворной способности древесных растений, проведенное К.С. Бобковой и В.В. Тужилкиной [4] в сосновых и еловых фитоценозах средней подзоны тайги на территории Республики Коми, показало, что у ели калорийность\* отдельных фракций фитомассы изменяется от 16,81 до 21,77 кДж/г, у сосны – от 16,40 до 22,91 кДж/г. Более высокие энергетические показатели характерны для древесины ствола и крупных корней. Полученные этими авторами данные о калорийности отдельных фракций разных древесных пород согласуются с результатами, приведенными и в других источниках. Так, А.А. Молчанов [9] отмечает, что калорийность древесины ствола сосны, произрастающей в таежной зоне, составляет 20,61 кДж/г, ели – 20,52 кДж/г, В.П. Дадыкина и Н.В. Кононенко [5] приводят данные – 21,05 и 19,81 кДж/г соответственно.

Многочисленные исследования калорийности сосны и ели по фракциям надземной фитомассы, проведенные К.С. Бобковой [3], показали, что в хвое сосны и ели аккумулируется соответственно 19,96...20,15 и 19,65...20,63 кДж/г; в ветвях – 18,40...19,00 и 18,83...19,0; в древесине ствола – 21,55 и 21,77; в коре – 18,49 и 20,37; в шишках – 20,39 и 19,75 кДж/г.

#### *Заключение*

Результаты исследования позволяют оценивать энергетический потенциал традиционно неиспользуемых фракций фитомассы; намечать направления их применения в энергетике (например, использование ветвей сосны, древесной зелени и коры ели в качестве биотоплива). Они могут служить основой для составления энергетического баланса лесных сообществ и изучения потоков энергии в лесных экосистемах таежной зоны. По нашим данным, еловые шишки накапливают 18,68 кДж/г солнечной энергии; ветви сосны и ели – соответственно 20,46 и 19,92 кДж/г; кора сосны и ели – 19,94 и 20,20 кДж/г; стволовая древесина сосны и ели – 19,51 и 18,92 кДж/г.

Полученные данные могут быть учтены при разработке карт пожарной безопасности лесов, обосновании правильного выбора дозы огнегасящих химических средств и воды при тушении, а также комплекса необходимых профилактических противопожарных мероприятий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабич Н.А., Клевцов Д.Н., Евдокимов И.В. Зональные закономерности изменения фитомассы культур сосны: моногр. Архангельск: САФУ, 2010. 140 с.
2. Бабич Н.А., Любов В.К. Энергетический потенциал среднетаежных сосняков-черничников искусственного происхождения // География Европейского Севера. Архангельск: ПГУ, 2002. С. 194–200.

---

\*Калорийность топлива, или теплота сгорания – количество энергии, аккумулированное в веществе.

3. Бобкова К.С. Биологическая продуктивность хвойных лесов Европейского Северо-Востока. Л.: Наука, 1987. 156 с.
4. Бобкова К.С., Тужилкина В.В. Содержание углерода и калорийность органического вещества в лесных экосистемах Севера // Экология. 2001. № 1. С. 69–71.
5. Дадыкин В.П., Кононенко Н.В. О теплотворной способности органического материала древесных растений // Лесоведение. 1975. № 2. С. 30–37.
6. Казимиров Н.И., Волков А.Д., Зябченко С.С., Иванчиков А.А., Морозова Р.М. Обмен веществ и энергии в сосновых лесах Европейского Севера. Л.: Наука, 1977. 304 с.
7. Курбатский Н.П. Техника и тактика тушения лесных пожаров. М.: Гослесбуиздат, 1962. 154 с.
8. Любовь В.К., Попов А.Н. Исследование теплотворной способности топлива: метод. указания к выполнению лаб. работы № 4. Архангельск: САФУ, 2012. 28 с.
9. Молчанов А.А. Продуктивность органической массы в лесах различных зон. М.: Наука, 1971. 276 с.
10. Родин А.Р., Родин С.А. Создание лесных энергетических плантаций // Вестн. МГУЛ – Лесн. вестн. 2008. № 1. С. 178–182.
11. Gerasimov Y., Karjalainen T. Assessment of Energy Wood Resources in Northwest Russia. Режим доступа: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2009/mwp108.pdf>. (дата обращения: 01.11.2015).

Поступила 01.11.15

UDC 630\*232.411.11

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.78

### Energy Potential of Pine and Spruce Cultures

*N.R. Sungurova<sup>1</sup>, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor*

*N.A. Babich<sup>1</sup>, Doctor of Agricultural Sciences, Professor*

*R.V. Sungurov<sup>2</sup>, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Senior Research Officer*

*V.K. Lyubov<sup>1</sup>, Doctor of Engineering Sciences, Professor*

*A.N. Popov<sup>1</sup>, Engineer*

<sup>1</sup>Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: nsungurova@yandex.ru, v.lyubov@narfu.ru, a.n.popov@narfu.ru

<sup>2</sup>Northern Research Institute of Forestry, ul. Nikitova, 13, Arkhangelsk, 163062, Russian Federation; e-mail: sungurov51@yandex.ru

Currently, more than half of the world's harvested wood is used in power generation, mainly to generate heat. According to the modern estimates, biomass is the most powerful renewable environmentally friendly energy source, next to the Sun. The work objective is the determination of the calorific value of different fractions of the above ground biomass in pine and spruce cultures, growing in the north-taiga area of the Arkhangelsk region. The obtained data are used to determine the amount of solar energy accumulated by the phytomass fractions. The energy potential of the studied pine and spruce cultures is calculated from the lowest phytomass calorific value, since it is adopted in Russia as the main indicator

---

*For citation:* Sungurova N.R., Babich N.A., Sungurov R.V., Lyubov V.K., Popov A.N. Energy Potential of Pine and Spruce Cultures. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 3, pp. 78–84. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.78

of the energy value of fuel. The relative amount of solar energy accumulated by individual parts of a tree layer in pine and spruce cultures is different. The most energy is accumulated by wood (pine – 70.0, spruce – 59.1 %). The lowest indicator of energy productivity is observed in the fraction of dry branches (2.8 and 3.3 %, respectively). The results of the research can be used in the development of forest fire safety maps, justification of the correct choice of a dose of fire-extinguishing chemicals and water for extinguishing, as well as the complex of necessary fire prevention measures. The obtained data allow us to estimate the energy potential of traditionally unused phytomass fractions, to outline the ways of their energy use; and also they are the basis for the energy balance composition of forest communities and the energy flow studying in the forest ecosystems of the taiga zone.

*Keywords:* forest culture, pine, spruce, above ground phytomass, calorific value, energy potential.

#### REFERENCES

1. Babich N.A., Klevtsov D.N., Evdokimov I.V. *Zonal'nye zakonomernosti izmeneniya fitomassy kul'tur sosny: monogr.* [Zonal Patterns of Phytomass Changes in Pine Cultures]. Arkhangelsk, 2010. 140 p.
2. Babich N.A., Lyubov V.K. Energeticheskiy potentsial srednetaezhnykh sosnyakov-chernichnikov iskusstvennogo proiskhozhdeniya [Energy Potential of the Middle-Taiga Pine and Myrtillus Forests of Artificial Origin]. *Geografiya Evropeyskogo Severa* [Geography of the European North]. Arkhangelsk, 2002, pp. 194–200.
3. Bobkova K.S. *Biologicheskaya produktivnost' khvoynykh lesov Evropeyskogo Severo-Vostoka* [Biological Productivity of Coniferous Forests of the European North-East]. Leningrad, 1987. 156 p.
4. Bobkova K.S., Tuzhilkina V.V. Soderzhanie ugleroda i kaloriynost' organicheskogo veshchestva v lesnykh ekosistemakh Severa [Carbon Content and Caloric Value of Organic Matter in the Forest Ecosystems of the North]. *Ekologiya* [Russian Journal of Ecology], 2001, no. 1, pp. 69–71.
5. Dadykin V.P., Kononenko N.V. O teplotvornoy sposobnosti organicheskogo materiala drevesnykh rasteniy [On the Calorific Value of Organic Material of Woody Plants]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 1975, no. 2, pp. 20–37.
6. Kazimirov N.I., Volkov A.D., Zyabchenko S.S., Ivanchikov A.A., Morozova R.M. *Obmen veshchestv i energii v sosnovykh lesakh Evropeyskogo Severa* [Substance and Energy Exchange in Pine Forests of the European North]. Leningrad, 1977. 304 p.
7. Kurbatskiy N.P. *Tekhnika i taktika tusheniya lesnykh pozharov* [Technique and Tactics of Forest Fire Extinguishing]. Moscow, 1962. 154 p.
8. Lyubov V.K., Popov A.N. *Issledovanie teplotvornoy sposobnosti topliva: metod. ukazaniya k vypolneniyu lab. raboty № 4* [Study of the Calorific Value of Fuel]. Arkhangelsk, 2012. 28 p.
9. Molchanov A.A. *Produktivnost' organicheskoy massy v lesakh razlichnykh zon* [Organic Matter Productivity in the Forests of Different Zones]. Moscow, 1971. 276 p.
10. Rodin A.R., Rodin S.A. Sozdanie lesnykh energeticheskikh plantatsiy [Establishment of Forest Energy Plantations]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik* [Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoy Vestnik], 2008, no. 1, pp. 178–182.
11. Gerasimov Y., Karjalainen T. *Assessment of Energy Wood Resources in Northwest Russia*. Available at: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2009/mwp108.pdf>. (accessed 01.11.2015).

Received on November 01, 2015

УДК 630\*5:504.054:620.267

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.85

## **ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ПОЧВ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА РОСТ СОСНОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ В УСЛОВИЯХ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ**

*З.Н. Маркина, д-р с.-х. наук, проф.*

Брянская государственная инженерно-технологическая академия, просп. Станке Дмитрова, д. 3, г. Брянск, Россия, 241037; e-mail: markina\_br@mail.ru

Радиоэкологическая обстановка на территории Брянской области, особенно в ее юго-западных районах, сложившаяся в результате катастрофы в г. Чернобыле, до сих пор остается сложной и неблагоприятной для жизнедеятельности и проживания людей. Полностью стабилизировать ситуацию в этой зоне не удалось до сих пор. Радиоактивное загрязнение значительных площадей лесных угодий (более 42 % (493,9 тыс. га) лесного фонда области оказалось загрязнено радионуклидами) привело к существенным изменениям условий хозяйствования. Приоритетным направлением реабилитации территорий, загрязненных радиоактивными выпадениями, является лесоразведение и лесовосстановление. В связи с этим оценка лесорастительных свойств почв на вырубках, гарях и неиспользуемых землях сельскохозяйственного назначения и выявление особенностей поведения радионуклидов в лесных насаждениях позволят правильно выбрать технологию создания лесных культур, обеспечивающую радиационную и экологическую безопасность, а также лесоводственную и экономическую эффективность. Проведение исследований, направленных на поиск перспективных технологий создания лесных культур на различных категориях земель, загрязненных радионуклидами, на основании оценки лесорастительных свойств почв и особенностей поведения радионуклидов в лесных насаждениях является своевременным и актуальным. Цель исследований – изучение особенностей роста сосны обыкновенной в зоне хвойно-широколиственных лесов и разработка перспективных технологий их создания на различных категориях земель, загрязненных радионуклидами. В условиях радиоактивного загрязнения на дерново-подзолистых песчаных почвах разной степени оглеенности и оподзоленности на вырубках, гарях и землях сельскохозяйственного назначения впервые установлена взаимосвязь лесорастительных свойств почв с биометрическими показателями сосны обыкновенной. Результаты работы позволяют расширить научную базу в области радиоэкологического мониторинга на различных категориях лесных земель, загрязненных радионуклидами. Полученные данные подтверждают тесную взаимосвязь почвенно-экологических условий с биометрическими показателями сосны обыкновенной, независимо от категории земель, и могут использоваться при разработке перспективных технологий создания лесных культур. Достоверность результатов исследований

---

*Для цитирования:* Маркина З.Н. Лесорастительные свойства почв и их влияние на рост сосновых насаждений в условиях радиоактивного загрязнения в Брянской области // Лесн. журн. 2017. № 3. С. 85–99. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.85

подтверждается достаточным количеством экспериментального материала, собранного и обработанного с использованием современных методов статистики. Мониторинг радиоэкологической ситуации в лесах и оценка почвенно-экологических условий позволяют комплексно решать вопросы безопасного ведения лесного хозяйства и лесопользования.

*Ключевые слова:* сосна обыкновенная, категории земель, лесорастительные свойства почв, биометрические показатели, радиоактивное загрязнение.

### *Введение*

Чернобыльская катастрофа привела к загрязнению значительных территорий радионуклидами с продолжительным периодом полураспада ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и др.), ее северо-восточный след проходит по территории Брянской области. Выпавшие радиоактивные осадки стали характерной техногенной составляющей почвенного покрова, который всегда выступает главным депонентом всех загрязнителей [23–26, 28]. Почва является чутким индикатором на загрязнение, так как находится на пересечении всех миграционных путей химических элементов. Выпадение радиоактивных осадков было неоднородным, мозаичным не только по районам, но и на отдельных участках. Радиоэкологическое состояние почвенного покрова наиболее загрязненных юго-западных районов Брянской области до настоящего времени остается нестабильным и сложным, а коренных изменений в сторону его улучшения пока не наступило. Процессы освобождения и очищения почв от радиоактивных веществ идут крайне медленно, что обусловлено долгоживущими радионуклидами [10, 17].

Масштабы радиоактивного загрязнения лесного фонда области существенно различаются как по площади, так и по плотности загрязнения почвы, составу радионуклидов. Радиологические обследования лесных угодий Брянской области выявили различные уровни их загрязнения. Из 1063,2 тыс. га плотность загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  до 1 Ки/км<sup>2</sup> имели 59,6 % (633,5 тыс. га), 1...5 Ки/км<sup>2</sup> – 21,9 % (233,0 тыс. га), 5...15 Ки/км<sup>2</sup> – 10,7 % (113,9 тыс. га), 15...40 Ки/км<sup>2</sup> – 6,9 % (73,5 тыс. га), более 40 Ки/км<sup>2</sup> – 0,9 % (9,3 тыс. га) [11, 12, 17, 20].

Брянские леса являются наиболее пострадавшими в России. Значительная часть этих лесов расположена в южной, центральной и западной частях Красногорского района с уровнем загрязнения 40 Ки/км<sup>2</sup> и более [8, 17], где по условиям радиационной безопасности приостановлена лесохозяйственная деятельность.

Важнейшими задачами, которые стоят при обращении с лесами, загрязненными радионуклидами, являются восстановление их социально-экономического значения в инфраструктуре загрязненных радионуклидами районов и возврат в хозяйственный оборот. Один из механизмов реабилитации загрязненных территорий – возобновление лесохозяйственной деятельности на различных категориях загрязненных лесных земель, поскольку леса играют важнейшую роль в стабилизации, перераспределении и очищении экосистем от радионуклидов [5, 15, 16, 18, 27, 29, 30].

В связи с этим оценка лесорастительных свойств почв в условиях радиоактивного загрязнения в лесных насаждениях позволяет улучшить технологию создания лесных культур, повысить их качество и получить высокопродуктивные насаждения. Отношение древесной породы к важнейшим почвенным факторам в совокупности с изучением почвенных режимов служит основой для разработки наиболее эффективных методов повышения устойчивости создаваемых лесных насаждений [2, 6, 9, 21].

Почвенные условия определяют успешность создания лесных культур и искусственного лесовосстановления сосновых насаждений, особенно на территориях, загрязненных радионуклидами, так как физические и физико-химические свойства почв влияют на рост и устойчивость насаждений [1, 4, 5, 7].

#### *Объекты и методы исследования*

Исследования проводили в сосновых и сосново-березовых насаждениях I класса возраста на различных категориях лесных земель в Красногорском участковом лесничестве Клинецовского лесничества [8], которое расположено в зоне смешанных лесов, в третьем лесорастительном районе Полесской низменности, в условиях радиоактивного загрязнения на 12 пробных площадях (ПП). Климат района умеренно-континентальный, с умеренно холодной зимой и умеренно теплым летом с преобладанием летних осадков.

Исследуемые культуры сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) произрастают в условиях свежей и влажной суборей (В<sub>2</sub>-В<sub>3</sub>). Относительная полнота культур на вырубках – 0,6...0,9; на гарях – 0,7...0,8; на неиспользуемых сельхозземлях – 0,5...0,8. Растут исследуемые культуры независимо от категории земель по I<sup>a</sup> и I классам бонитета.

ПП закладывали в соответствии с общепринятыми методиками исследования лесных биогеоценозов и рекомендациями по ведению радиоэкологического мониторинга. Полевые работы основаны на методах, принятых в лесной таксации [13]. Изучение морфологических и физико-химических свойств почвы проводили согласно ОСТ 56-81-84 «Полевые исследования почвы» [14]. В стационарных условиях физико-химический анализ почвенных образцов выполняли стандартными методами, принятыми в лесной и агрохимической службах России. Определение <sup>137</sup>Cs проводили на гамма-спектрометрическом комплексе «Прогресс».

Радиоэкологическое состояние на исследуемых объектах характеризуется следующими показателями по <sup>137</sup>Cs: уровень загрязнения лесной подстилки на вырубках колеблется от 573 до 2106 кБк/м<sup>2</sup>; в гумусовом горизонте – от 153 до 857 кБк/м<sup>2</sup>; на гарях – от 1486 до 1822 кБк/м<sup>2</sup> и 1267 кБк/м<sup>2</sup> соответственно; в гумусовом горизонте неиспользуемых сельхозземель – от 71 до 397 кБк/м<sup>2</sup> [12].

Почвенный покров Брянской области достаточно мозаичен и зависит от пестроты почвообразующих и подстилающих пород, расположения по элементам рельефа и близости залегания грунтовых вод, представлен дерново-подзолистыми почвами, которые различаются по степени выраженности дернового, подзолистого и глеевого процессов.

На вырубках, в типе лесорастительных условий В<sub>3</sub> (влажные субори), распространены слабоподзолистая глеевая песчаная почва на водно-ледниковых отложениях (ПП 4) и среднеподзолистая глеевая песчаная почва на морене (ПП 5) с уровнем залегания грунтовых вод 0,4 и 0,6 м соответственно; на гарях – слабоподзолистая песчаная глеевая почва на водно-ледниковых отложениях (ПП 11). Под воздействием процессов заболачивания происходят оглеение горизонтов почвенного профиля и образование лесной подстилки. Исходя из возраста насаждений (9 и 10 лет) мощность подстилки во влажных субориях составляет 3...5 см.

В типе лесорастительных условий В<sub>2</sub> (свежие субори, вырубки) сформировались слабоподзолистые песчаные почвы на флювиогляциальных песках (ПП 6), водно-ледниковых отложениях (ПП 10) и морене (ПП 7) с уровнем залегания грунтовых вод на глубине более 2 м, на гарях – слабоподзолистые песчаные почвы на смеси водно-ледниковых и моренных отложений (ПП 2) и с прослойками морены (ПП 3). В свежих субориях при возрасте насаждений 11...13 лет мощность подстилки 3 см.

Почвы объектов исследований бедны гумусом (вырубки – 0,99...1,86 %; гари – 1,96...2,43 %; сельхозземли – 0,91...1,57 %), имеют очень низкое и низкое содержание подвижных форм фосфора и калия (вырубки – 4...53 и 4...38 мг/кг; гари – 10...33 и 7...15 мг/г; сельхозземли – 37...72 и 8...39 мг/г соответственно).

Для расчета основных статистических характеристик использованы программы «Статистика», Systat 11 и «Корреляция» [3]. По каждому варианту вычисляли средние арифметические значения и основные отклонения с ошибками их определения, коэффициенты изменчивости, точность опыта. Существенность различий средних значений рассчитывали по критерию Стьюдента. В лесном хозяйстве оценки производятся при  $p < 0,05$ .

#### *Результаты исследования и их обсуждение*

На вырубках, в одинаковых условиях влажных суборей, но на разных почвообразующих породах, различия в таксационных показателях существенны (табл. 1). Сосновые насаждения, произрастающие в условиях влажных суборей на ПП 5, имеют диаметр на 0,48 см (или на 12,7 %) больше, высоту – на 0,66 м (17,6 %) выше, прирост текущего года – на 19,3 см (91,5 %) больше, чем на ПП 4. В условиях свежих суборей лесные культуры сосны обыкновенной имеют лучший рост на почве, сформировавшейся на флювиогляциальных песках, по сравнению с мореной. Диаметр сосновых насаждений на ПП 6 на 1,7 см (43,6 %) больше, высота – на 1,7 м (41,5 %) выше, прирост – на 14,7 см (33,9 %) больше, чем насаждений на ПП 7. Различия в росте между сосновыми насаждениями на ПП 6 и ПП 10 по диаметру составляют 1,1 см (24,4 %), по высоте – 1,22 м (26,7 %), по приросту – 7,9 см (15,8 %). Лесные культуры сосны обыкновенной на вырубках имеют высокие классы бонитета – I и Ia. Это указывает на хорошие условия для их произрастания. Следует отметить,

Таблица 1

Показатели	Вырубки					Гари					Земли сельхозпользования				
	ПП 4	ПП 5	ПП 6	ПП 7	ПП 10	ПП 2	ПП 3	ПП 11	ПП 1	ПП 8	ПП 9	ПП 12			
Тип леса	С. черн 10С	С. черн 10С	С. брч 8С2Б	С. черн 8С2Б	С. брч 10С	С. брч 10С	С. брч 10С	С. брч 10С							
Состав	9	10	12	11	12	9	8	8	8	7	11	13			
Возраст, лет	3,74	4,40	5,79	4,08	4,57	4,55	3,98	3,31	3,89	2,16	4,40	2,56			
Средняя высота, м	3,77	4,25	5,62	3,86	4,51	4,31	3,76	3,24	3,69	2,07	4,40	2,03			
Средний диаметр, см			3,56	3,62	3,28	3,81	3,33	2,61							
Прирост текущего года по высоте, см	21,1	40,4	58,0	43,3	50,1	53,7	54,0	44,2	49,8	31,8	60,7	28,8			
Тип условий произрастания	В <sub>3</sub>	В <sub>3</sub>	В <sub>2</sub>	В <sub>2</sub>	В <sub>2</sub>	В <sub>3</sub>	В <sub>3</sub>	В <sub>2</sub>	В <sub>2</sub>	В <sub>2</sub>	В <sub>2</sub>	В <sub>2</sub>			
Класс бонитета	I	I <sup>a</sup>	I <sup>a</sup>	I	I	I <sup>a</sup>	I	I	I	I	I	I			
Полнота	0,7	0,7	0,9	0,7	0,6	0,7	0,8	0,7	0,8	0,7	0,7	0,5			
<i>Характеристика почвы</i>															
Плотность сложения, г/см <sup>3</sup>	1,01	1,03	1,01	1,14	0,95	0,89	0,83	0,99	1,02	0,99	0,7	0,98			
pH <sub>ксл</sub>	3,5	3,6	4,0	5,5	5,4	3,9	4,0	4,2	5,1	6,2	4,3	5,1			
Содержание: гумуса, %	1,29	1,66	1,58	0,99	1,86	2,43	2,06	1,96	1,51	1,33	0,91	1,57			
<sup>137</sup> Cs, кБк/м <sup>2</sup> (A <sub>0</sub> )	573	2106	1237	–	–	1486	1822	–	–	–	–	–			
<sup>137</sup> Cs, кБк/м <sup>2</sup> (A <sub>1</sub> )	189	231	172	153	857	583	725	1267	72	151	397	71			
Вывнос, кг/га в год:															
N	15,0	15,0	16,7	15,9	16,7	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,9	17,3			
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3,5	3,5	3,7	3,6	3,7	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,6	3,8			
K <sub>2</sub> O	8,0	8,0	9,0	8,5	9,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,5	9,4			
Запас, кг/га (в слое 0...50 см):															
N	8,9	11,6	13,4	12,2	11,6	26,2	5,6	15,3	21,7	14,9	8,6	11,3			
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	307	656	1308	2073	3694	747	163	1721	1902	2988	2414	1448			
K <sub>2</sub> O	303	465	301	867	1263	325	512	697	2080	1329	714	785			

что в смешанных сосново-березовых насаждениях условия для роста и развития сосны обыкновенной более благоприятные. Это связано с тем, что в смешанных насаждениях в биологический круговорот веществ вовлекается опад березы, богатый основаниями, лесорастительные свойства почв при этом повышаются.

На гарях (табл. 1) в условиях свежих суборей на ПП 2 сосновые насаждения имеют диаметр на 0,55 см (14,6 %) больше, высоту – на 0,57 м (14,3 %) выше, чем на ПП 3. Сравнение таксационных показателей сосны обыкновенной, произрастающей в условиях свежей (ПП 2) и влажной (ПП 11) суборей, показало их ухудшение при увеличении гидроморфности почв. Диаметр сосновых насаждений, произрастающих в условиях влажной субори на гидроморфной почве (ПП 11), на 1,07 см (33,0 %) меньше, высота – на 1,24 м (37,5 %) ниже, прирост текущего года – на 9,5 см (21,5 %) меньше, чем на автоморфной почве (ПП 2). Сосново-березовые насаждения на гарях имеют высокие классы бонитета (I<sup>a</sup> и I), что указывает на хорошие условия для их произрастания. Однако таксационные показатели сосновых насаждений, произрастающих на почве, сформировавшейся на смеси водно-ледниковых и моренных отложений, выше. Значительное влияние на рост пород в высоту и по диаметру наряду с другими факторами оказывают материнские почвообразующие породы (ПП 2).

На землях сельхозпользования (табл. 1), прилегающих к лесным массивам, чистые сосновые насаждения на старопашотной дерново-слабоподзолистой песчаной почве, сформировавшейся на различных почвообразующих породах, имеют I класс бонитета, но различаются по биометрическим показателям. Лучшие значения диаметра, высоты и прироста текущего года принадлежат насаждениям, произрастающим на смеси водно-ледниковых и моренных отложений (ПП 9). На ПП 9 и ПП 1 различия в росте между сосновыми насаждениями по диаметру составляют 0,71 см (19,2 %), по высоте – 0,51 м (13,9 %), по текущему приросту – 10,9 см (21,9 %); на ПП 9 и ПП 8: по диаметру – 2,33 см (112,6 %), по высоте – 2,24 м (103,7 %), по текущему приросту – 28,9 см (90,9 %); на ПП 9 и ПП 12: по диаметру – 2,37 см (116,7 %), по высоте – 1,34 м (52,3 %), по текущему приросту – 31,9 см (110,8 %).

Растения в процессе жизни извлекают из почвы необходимые для роста и развития химические элементы, избирательно накапливая их в различных частях своего организма. Потребность насаждений в элементах минерального питания определяется в основном его выносом [19] растительными организмами из почвы. Сопоставив вынос и запасы элементов питания в слое почвы 0...50 см, можно оценить лесорастительные свойства почв (табл. 1).

Почвы лесных и неиспользуемых сельскохозяйственных земель обладают значительными запасами фосфора и калия. Однако следует отметить, что из всех элементов питания древесные породы, особенно в молодом

возрасте, в наибольшем количестве потребляют азот. На всех категориях земель наблюдается превышение выноса азота из почвы над его запасом в корнеобитаемом слое (табл. 1). Хотя запасы азота под сосновыми насаждениями соответствуют их среднему содержанию в почве [22], тем не менее его недостаток по выносу отражается на росте сосны обыкновенной.

На вырубках почвы с более высоким содержанием азота (ПП 6) имеют лучшие таксационные показатели (диаметр – 5,6 см, высота – 5,8 м) по сравнению с почвами бедными азотом (ПП 4; диаметр – 3,8 см, высота – 3,7 м), что подтверждается I<sup>a</sup> и I классами бонитета соответственно. Значительное влияние здесь также оказывают переувлажненность почв (ПП 4) и смешение пород (ПП 6).

На гарях прослеживается аналогичная картина. При максимальном содержании азота в гумусовом горизонте (ПП 2 – 21,2 кг/га) сосна имеет наибольшие диаметр (4,3 см) и высоту (4,6 м), а также высокий класс бонитета (I<sup>a</sup>). Несмотря на высокое содержание азота в почве на ПП 11 (15,3 кг/га), степень гидроморфности почв оказывает негативное влияние на рост сосны (диаметр – 3,2 см, высота – 3,3 м).

На сельскохозяйственных землях содержание азота не оказывает такого существенного влияния на рост сосны обыкновенной, как на лесных землях. Рост сосны по диаметру и в высоту хуже, чем в лесных культурах, на вырубках и гарях, что связано с отсутствием высокой конкуренции за экологические факторы и лесомелиоративных мероприятий.

Анализ распределения диаметров и высот сохранившихся живых деревьев на ПП выявил, что вариабельность диаметра характеризуется близкими значениями и находится в пределах 5,62...2,30 см, высоты – в пределах 5,79...2,16 м (табл. 2). На вырубках максимальная вариабельность диаметра у сосны обыкновенной отмечена в 12-летнем возрасте, что связано с большей конкуренцией деревьев за свет и элементы минерального питания в младшем возрасте (ПП 6), минимальная – в 9-летнем (ПП 4). На гарях максимальная вариабельность диаметра выявлена в 9-летнем возрасте (ПП 2), минимальная – в 8-летнем (ПП 11), что можно объяснить степенью гидроморфности почвы и почвообразующей породой.

На сельхозземлях максимальная вариабельность диаметра у сосны обыкновенной отмечена в 11-летнем возрасте (ПП 9), минимальная – в 13-летнем (ПП 12). Точность опыта – в пределах 5 % по всем категориям земель.

На неиспользуемых сельхозземлях максимальная высота зафиксирована у деревьев в 11-летнем возрасте (ПП 9), минимальная – в 8-летнем. По мере возрастания средних высот объекты можно расположить в следующий ряд: культуры на вырубках, на гарях, на сельхозземлях. Это явление можно объяснить способом создания культур, полнотой насаждения и запасами элементов питания в почве. Точность опыта находится в пределах 5 % по всем категориям земель.

Таблица 2  
Статистические характеристики биометрических показателей основных насаждений

ПП	Диаметр на высоте груди, см				Высота, м				Прирост, см			
	$M \pm m_{Me}$	$\sigma_{\pm m_{\sigma}}$	$R, \%$	Кoeffициент сушест-венного различия	$M \pm m_{Me}$	$\sigma_{\pm m_{\sigma}}$	$S, \%$	$R, \%$	Кoeffициент сушест-венного различия	$M \pm m_{Me}$	$\sigma_{\pm m_{\sigma}}$	Кoeffициент сушест-венного различия
<i>Вырубка</i>												
6	5,62±0,25	1,23±0,17	21,9	4,4	5,79±0,23	1,17±0,17	20,2	4,0	58,00±2,86	14,32±2,02	12,20	
4	3,77±0,15	0,74±0,10	19,5	3,9	3,74±0,13	0,65±0,09	17,6	3,5	21,08±0,98	4,91±0,69		
6	5,62±0,25	1,23±0,17	21,9	4,4	5,79±0,23	1,17±0,17	20,2	4,0	58,00±2,86	14,32±2,02	4,35	
5	4,25±0,21	1,04±0,15	24,4	4,9	4,40±0,17	0,81±0,11	18,4	3,7	40,44±2,84	14,20±2,00		
6	5,62±0,25	1,23±0,17	21,9	4,4	5,79±0,23	1,17±0,17	20,2	4,0	58,00±2,86	14,32±2,02	4,61	
7	3,86±0,16	0,79±0,11	20,3	4,1	4,08±0,16	0,78±0,11	19,3	3,8	43,32±1,39	6,94±0,98		
6	5,62±0,25	1,23±0,17	21,9	4,4	5,79±0,23	1,17±0,17	20,2	4,0	58,00±2,86	14,32±2,02	2,10	
10	3,28±0,16	0,79±0,11	21,2	4,2	6,17±0,30	0,96±0,14	20,9	4,2	50,08±2,45	12,26±1,73		
<i>Гари</i>												
2	4,31±0,19	0,95±0,13	22,0	4,4	4,55±0,20	1,01±0,14	22,5	4,4	53,72±2,13	10,63±1,50	0,11	
3	3,76±0,16	0,83±0,12	22,0	4,4	3,98±0,17	0,85±0,12	21,5	4,3	54,04±2,11	10,53±1,49		
2	4,31±0,19	0,95±0,13	22,0	4,4	4,55±0,20	1,01±0,14	22,5	4,4	53,72±2,13	10,63±1,50	3,38	
11	3,24±0,15	0,73±0,10	22,5	4,5	3,31±0,15	0,74±0,10	22,2	4,4	44,20±1,85	9,27±1,31		
<i>Земли сельхозназначения</i>												
9	4,40±0,16	0,79±0,11	17,8	3,6	4,40±0,18	0,89±0,12	20,3	4,1	60,72±1,98	9,90±1,40	3,60	
1	3,69±0,13	0,63±0,09	17,2	3,4	3,89±0,13	0,67±0,09	17,2	3,4	49,84±2,29	11,44±1,62		
9	4,40±0,16	0,79±0,11	17,8	3,6	4,40±0,18	0,89±0,12	20,3	4,1	60,72±1,98	9,90±1,40	12,58	
8	2,07±0,08	0,38±0,05	18,4	3,7	2,16±0,07	0,37±0,05	17,2	3,4	31,08±1,17	5,85±0,83		
9	4,40±0,16	0,79±0,11	17,8	3,6	4,40±0,18	0,89±0,12	20,3	4,1	60,72±1,98	9,90±1,40	14,03	
12	2,03±0,11	0,53±0,07	23,1	4,6	2,56±0,10	0,51±0,07	20,0	4,0	28,80±1,12	5,61±0,79		

Примечание:  $M \pm m$  – среднearифметическое значение и его ошибка;  $\sigma_{\pm m_{\sigma}}$  – основное отклонение и его ошибка;  $S$  – коэффициент изменчивости;  $R$  – точность опыта.

Высокая изменчивость диаметра по шкале С.А. Мамаева наблюдается на вырубках, кроме ПП 4, гарях и на сельхозземлях ПП 12. Вариабельность незначительная. Высокая изменчивость по высоте характерна для гарей, сельхозземель на ПП 9 и 12, для вырубок – в основном средняя, кроме ПП 6 и ПП 10. Вариабельность также незначительная.

Проверку достоверности влияния эффективности лесорастительных условий на рост сосновых насаждений на различных категориях земель в зоне радиоактивного загрязнения проводили по критерию Стьюдента. Результаты свидетельствуют о том, что биометрические показатели сосны обыкновенной на различных категориях земель в условиях радиоактивного загрязнения зависят от лесорастительных свойств почв. Различия высот у лесных культур сосны, созданных на вырубках и гарях, при  $p < 0,05$  составляют 12,4 % ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ , 3,59 > 2,06), диаметров на уровне груди – 14,3 % ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ , 4,31 > 2,06) текущего прироста – 17,1 % ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ , 4,24 > 2,06). При сравнении показателей на вырубке и землях сельхозпользования различия существенны и составляют по высоте 27,9 % ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ , 8,48 > 2,06), по диаметру на уровне груди – 29,1 % ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ , 8,61 > 2,06), по текущему приросту существенных различий не отмечено. Различия высот у лесных культур сосны обыкновенной, созданных на гарях и землях сельхозпользования, – 17,7 % ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ , 4,30 > 2,06), диаметров на уровне груди – 17,2 % ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ , 4,11 > 2,06), текущего прироста – 16,4 % ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ , 4,06 > 2,06).

Рост сосновых насаждений по высоте, диаметру и текущий прирост по высоте на вырубках значительно выше, чем на гарях и землях сельхозпользования.

Сравнение влияния почвенно-экологических условий и свойств почвообразующих пород на биометрические показатели сосновых насаждений на вырубках в различных типах лесорастительных условий показало (табл. 2), что высота сосны обыкновенной (ПП 6) на 35,4 % ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ , 7,76 > 3,77,  $P = 99,9$  %), диаметр на высоте груди на 32,9 % ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ , 6,35 > 3,77,  $P = 99,9$  %) выше по сравнению с показателями на ПП 4. На ПП 6 и ПП 5 различия по высоте составили 24,0 % ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ , 4,86 > 3,77,  $P = 99,9$  %), по диаметру – 24,4 % ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ , 4,20 > 3,77,  $P = 99,9$  %), что обусловлено гидроморфностью почв. Различия в показателях роста на ПП 6 и ПП 7 – 29,5 % (высота,  $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ , 6,10 > 3,77,  $P = 99,9$  %) и 31,4 % (диаметр,  $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ , 5,93 > 3,77,  $P = 99,9$  %), что связано в данном случае с особенностями почвообразующей породы; на ПП 6 и ПП 10 – 21,1 % ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ , 4,09 > 3,77,  $P = 99,9$  %) по высоте и 19,7 % по диаметру ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ , 2,08 > 2,07,  $P = 95,0$  %), что обусловлено лесорастительными свойствами почв. Различия в текущем приросте по высоте в 2012 г. составили 63,7 % ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ , 12,20 > 3,77,  $P = 99,9$  %), 30,3 % ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ , 4,35 > 3,77,  $P = 99,9$  %), 25,3 % ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ , 4,61 > 3,77,  $P = 99,9$  %) на разных почвообразующих породах; на ПП 6 и ПП 10 – 13,7 % ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ , 2,10 > 2,07,  $P = 95,0$  %) на одинаковой почвообразующей породе.

Различия по высоте и диаметру на гарях между ПП 2 и ПП 3 составили 12,5 % по высоте ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $2,17 > 2,07$ ,  $P = 95,0 \%$ ) и 12,8 % по диаметру ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $2,21 > 2,07$ ,  $P = 95,0 \%$ ); между ПП 2 и ПП 11 – по высоте 27,3 % ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $4,96 > 3,77$ ,  $P = 99,9 \%$ ), по диаметру 24,8 % ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $4,42 > 3,77$ ,  $P = 99,9 \%$ ), что вызвано гидроморфностью почв. Различия в текущем приросте по высоте в 2012 г. на одинаковых почвообразующих породах (ПП 2 и ПП 3) отсутствуют ( $t_{\text{факт}} = 0,11$ ), на ПП 2 и ПП 11 составляют 18,2 % ( $t_{\text{факт}} > t_{\text{табл}}$ ,  $3,38 > 2,87$ ,  $P = 99,0 \%$ ).

Проверка достоверности влияния лесорастительных свойств почв на рост сосновых насаждений свидетельствует о том, что биометрические показатели сосны обыкновенной на различных категориях земель в условиях радиоактивного загрязнения напрямую зависят от почвенно-экологических условий. Степень снабжения древостоев элементами питания определяет их продуктивность.

Таким образом, в условиях радиоактивного загрязнения выявление закономерностей количественных связей между параметрами лесных насаждений и почвенно-экологическими условиями позволит научно обосновать систему лесоустройства и ведение лесного хозяйства, разработать дифференцированный комплекс лесоводственных мероприятий, направленных на повышение продуктивности и устойчивости лесных экосистем, правильно выбрать технологию создания лесных культур соответственно лесорастительным условиям конкретного региона [21].

#### *Выводы*

1. Установлено, что в типе лесорастительных условий  $B_3$  (влажные субори) сформированы слабо- и среднеподзолистые глеевые песчаные почвы на водно-ледниковых отложениях и на морене с уровнем залегания грунтовых вод 0,4 и 0,6 м соответственно; в типе лесорастительных условий  $B_2$  (свежие субори) распространены слабоподзолистые песчаные почвы на флювиогляциальных песках, водно-ледниковых отложениях, на смеси водно-ледниковых и моренных отложений с прослойками морены и на морене с уровнем залегания грунтовых вод на глубине более 2 м.

2. Выявлено, что сосновые насаждения имеют лучшие показатели роста в типе лесорастительных условий  $B_3$  (влажная суборь) на морене, чем на водно-ледниковых отложениях. Различия по диаметру составляют 12,7 %, по высоте – 17,6 %, по приросту текущего года 91,5 %; в типе  $B_3$  (свежая суборь) лесные культуры сосны обыкновенной имеют лучший рост на флювиогляциальных песках, чем на морене. Различия по диаметру составляют 24,4...43,6 %, по высоте – 26,7...41,5 %, по приросту – 15,8...33,9 %.

3. Установлено, что лесорастительные свойства дерново-подзолистых почв в свежих ( $B_2$ ) и влажных ( $B_3$ ) субориях определяются свойствами почвообразующих и подстилающих пород, глубиной залегания грунтовых вод

и степенью гидроморфности почв независимо от категорий лесных земель и уровня радиоактивного загрязнения почв.

4. Выявлено, что показатели высоты и диаметра насаждений на сельхозземлях значительно ниже, чем в культурах сосны в чистом виде и в смешанных насаждениях на лесных землях, что определяется не только возрастными показателями, свойствами и соотношением почвообразующих пород, но и отсутствием лесохозяйственных мероприятий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алябьев А.Ф., Проказин Н.Е.* Применение технологий создания лесных культур на вырубках в лесной зоне европейской части России // Лесн. хоз-во. 2003. № 5. С. 37–40.
2. *Волович П.И.* Лесовосстановление и лесоразведение на загрязненных радионуклидами землях // Современное состояние и перспективы ведения лесного хозяйства на загрязненных радионуклидами землях: материалы междунар. науч.-практ. конф. Гомель, 2011. С. 112–115.
3. *Ивантер Э.В., Коросов А.В.* Элементарная биометрия: учеб. пособие. Петрозаводск: ПетрГУ, 2010. 104 с.
4. *Итешина Н.М., Корепанов А.Д., Петров А.В.* Лесорастительные свойства дерново-подзолистых почв Прикамья // Вестн. Удмурт. ун-та. Сер. Биология. Науки о Земле. 2011. Вып. 3. С. 132–135.
5. *Калиниченко Н.П., Писаренко А.И., Смирнов Н.А.* Лесовосстановление на вырубках. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Экология, 1991. 384 с.
6. *Копытков В.В.* Итоги многолетних исследований создания лесных культур различными способами и методами на землях с повышенным уровнем радиационного загрязнения // Современное состояние и перспективы ведения лесного хозяйства на загрязненных радионуклидами землях: материалы междунар. науч.-практ. конф. Гомель, 2011. С. 130–133.
7. *Кудряшев А.В.* Лесные культуры на сельскохозяйственных землях // Проблемы лесоведения и лесоводства (Институту леса НАН Беларуси – 75 лет): сб. науч. тр. ИЛ НАН Беларуси. Гомель, 2005. Вып. 63. С. 215–217.
8. Лесохозяйственный регламент Клинецкого лесничества / Зап. фил. гос. инвентаризации лесов ФГУП «Рослесинфорг». Брянск, 2008. 189 с.
9. *Марадудин И.И.* Основы организации и ведения лесного хозяйства в лесах, загрязненных радионуклидами в результате аварии на Чернобыльской АЭС: учеб. пособие. М.: МЛТИ, 1990. 91 с.
10. *Марадудин И.И., Панфилов А.В., Шубин В.А.* Основы прикладной радиоэкологии леса: учеб. пособие. М.: ВНИИЛМ, 2001. 224 с.
11. *Маркина З.Н.* Принципы лесовосстановления на основе анализа радиоэкологического состояния почвенно-растительного покрова Брянской области. Брянск: БГИТА, 2011. 135 с.
12. *Маркина З.Н., Кондратенко Т.А.* Лесорастительные свойства почв сосновых насаждений Брянской области, загрязненных <sup>137</sup>Cs вследствие катастрофы на ЧАЭС. Брянск: БГИТА, 2014. 106 с.
13. ОСТ 56-69-83. Пробные площади лесоустроительные. Метод закладки. М.: ЦБНТИ Гослесхоза СССР, 1983. 60 с.

14. ОСТ 56-81–84. Полевые исследования почвы. Порядок и способы проведения работ, основные требования к результатам. М.: ЦБНТИ Гослесхоза СССР, 1985. 14 с.
15. Правила лесовосстановления [Электронный ресурс]: утв. приказом МПР РФ от 16 июля 2007 г. № 183. Доступ из справ.-правовой системы «Консультант Плюс».
16. Правила лесоразведения [Электронный ресурс]: утв. приказом Рослесхоза от 10 янв. 2012 г. № 1. Доступ из справ.-правовой системы «Консультант Плюс».
17. Прудников П.В., Карпеченко С.В., Новиков А.А., Поликарпов Н.Г. Агрохимическое и аэроэкологическое состояние почв Брянской области. Брянск: Клинец. гор. тип., 2007. 608 с.
18. Распоряжение Правительства РФ «Основы государственной политики в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов в Российской Федерации на период до 2030 г.» от 26 сент. 2013 г. № 1724-р. Режим доступа: <http://www.fg.ru/2013/10/01/lesa-site-dok.html> (дата обращения: 03.03.2016).
19. Ремезов Н.П., Погребняк П.С. Лесное почвоведение. М.: Лесн. пром-сть, 1965. 324 с.
20. Руководство по ведению лесного хозяйства в зонах радиоактивного загрязнения от аварии на Чернобыльской АЭС (на период 1997–2000 гг.): утв. приказом руководителя Федер. службы лесн. хоз-ва России от 31.03.97 № 40.
21. Тарасенко В.П., Маркина З.Н., Егорушкин В.А. Комплекс лесомелиоративных мероприятий по снижению негативных последствий катастрофы на ЧАЭС в зоне хвойно-широколиственных лесов. Брянск: Клинец. гор. тип., 2012. 120 с.
22. Холопова Л.Б. Дерново-подзолистые почвы бассейна малого водотока в Подмосковье // Грунтознавство (Почвоведение). 2004. Т. 5, № 1-2. С. 16–26.
23. Ansbaugh L.R., Catlin R.J., Goldman M. The Global Impact of the Chernobyl Reactor Accident // Science. 1988. Vol. 242, no. 4885. Pp. 1513–1519.
24. Calmon P., Thiry Y., Zibold G., Rantavaara A., Fesenko S. Transfer Parameter Values in Temperate Forest Ecosystems: A review // Journal of Environmental Radioactivity. 2009. Vol. 100. Pp. 757–766. Doi: 10.1016/j.jenvrad.2008.11.005
25. Kruyts N., Delvaux B. Soil Organic Horizons as a Major Source for Radiocaesium Biorecycling in Forest Ecosystems // Journal of Environmental Radioactivity. 2002. Vol. 58. Pp. 175–190.
26. Myttenaere C., Schell W.R., Thiry Y., Sombre L., Ronneau C., Deschrieck J.V. Modelling of Cs-137 Cycling In Forests: Recent Developments and Research Needed // Science of the Total Environment. 1993. Vol. 136. Pp. 77–91.
27. Nishita H., Taylor P., Alexander G.V., Larson K.H. Influence of Stable Cs and K on the Reaction of <sup>137</sup>Cs and <sup>40</sup>K in Soils and Clay Minerals // Soil Sci. 1962. Vol. 94, no. 3. Pp. 187–197.
28. Shiraiishi K., Muramatsu Y., Nakajima T., Yamamoto M., Los I., Kamarikov I., Buzinny M. Radionuclide contents in Environmental Samples as Related to the Chernobyl Accident // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 1993. Vol. 171, no. 2. Pp. 319–328.
29. Thiry Y., Myttenaere C. Behaviour of Radiocaesium in Forest Multilayered Soils // Journal of Environmental Radioactivity. 1993. Vol. 18. Pp. 247–257.
30. Valckle E. The Behaviour Dynamics of Radiocesium and Radiostrontium in Soils Rich in Organic Matter: Ph. D. Thesis. Belgium, 1992. 135 p.

Поступила 25.01.17

UDC 630\*5:504.054:620.267

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.85

### **Forest Soil Characteristics and Their Impact on the Growth of Pine Plantations Under Radioactive Contamination in the Bryansk Region**

*Z.N. Markina, Doctor of Agricultural Sciences, Professor*

Bryansk State Engineering Technological Academy, pr. Stanke Dimitrova, 3, Bryansk, 241037, Russian Federation; e-mail: markina\_br@mail.ru

The radioecological situation on the territory of the Bryansk region, especially in the South-Western areas, as a result of the Chernobyl accident, is still remains difficult and unfavorable for people's life and activity. The situation has not been stabilized completely in this zone. Large areas of forest lands (more than 42 % (493.9 thousand hectares) of the region's forest fund) are contaminated with radionuclides, which has led to significant changes in the conditions of management. The priority directions of rehabilitation of territories contaminated by radioactive fallout are afforestation and reforestation. In this regard, the evaluation of the soil characteristics in felling, burned areas and unused agricultural lands and the identification of specific features of radionuclide behavior in the forest plantations allow us to make the right choice of technology for the creation of forest cultures that ensures the radiation and environmental safety, as well as the forestry and economic efficiency. The research aimed to finding promising technologies for the creation of forest cultures in different categories of lands contaminated with radionuclides, based on an assessment of the forest-growing properties of soils and the specific behavior of radionuclides in forest plantations, is timely and relevant. The goal of research is to study the peculiarities of Scotch pine growing in the coniferous-deciduous forest zone and to develop the promising technologies for their creation in various categories of lands contaminated with radionuclides. In the conditions of radioactive contamination on sod-podzolic sandy soils of different degrees of gleization and presence of podsol in felling, burnt areas and agricultural lands, the relationship between the silvicultural soil characteristics and the biometric indicators of Scots pine is first established. The results of the work allow expanding the scientific base in the field of radioecological monitoring in different categories of forest lands contaminated with radionuclides. The obtained data confirm the close relationship of soil-ecological conditions with biometric indicators of Scots pine, regardless of the category of lands, and can be used in the development of promising technologies for the creation of forest cultures. The reliability of the study results is confirmed by a sufficient amount of experimental material collected and processed with the use of modern statistical methods. Monitoring of the radioecological situation in forests and the assessment of soil and ecological conditions allow us to solve the issues of the safe forestry management in an integrated manner.

*Keywords:* Scotch pine, land use category, silvicultural soil characteristic, biometric indicator, forest soil property, radioactive contamination.

---

*For citation:* Markina Z.N. Forest Soil Characteristics and Their Impact on the Growth of Pine Plantations Under Radioactive Contamination in the Bryansk Region. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 3, pp. 85–99. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.85

## REFERENCES

1. Alyab'ev A.F., Prokazin N.E. Primenenie tekhnologiy sozdaniya lesnykh kul'tur na vyrubkakh v lesnoy zone evropeyskoy chasti Rossii [Technologies of Forest Cultures Creation in Felling Sites in the Forest Zone of the European Part of Russia]. *Lesnoe khozyaystvo*, 2003, no. 5, pp. 37–40.
2. Volovich P.I. Lesovosstanovlenie i lesorazvedenie na zagryaznennykh radionuklidami zemlyakh [Reforestation and Afforestation on Radionuclide-Contaminated Lands]. *Sovremennoe sostoyanie i perspektivy vedeniya lesnogo khozyaystva na zagryaznennykh radionuklidami zemlyakh: materialy nauch.-prakt. konf.* [Current State and Prospects of Forest Management on Radionuclide-Contaminated Lands: Proc. Sci. Pract. Conf.]. Gomel, 2011, pp. 112–115.
3. Ivanter E.V., Korosov A.V. *Elementarnaya biometriya: ucheb. posobie* [Elementary Biometrics]. Petrozavodsk, 2010. 104 p.
4. Iteshina N.M., Korepanov A.D., Petrov A.V. Lesorastitel'nye svoystva dernovo-podzolistykh pochv [Forest Growth Properties of Sod-Podzolic Soils in Prikamye]. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Biologiya. Nauki o Zemle* [Bulletin of Udmurt University. Biology and Earth Sciences], 2011, vol. 3, pp. 132–135.
5. Kalinichenko N.P., Pisarenko A.I., Smirnov N.A. *Lesovosstanovlenie na vyrubkakh* [Reforestation in Felling Sites]. Moscow, 1991. 384 p.
6. Kopytkov V.V. Itogi mnogoletnikh issledovaniy sozdaniya lesnykh kul'tur razlichnymi sposobami i metodami na zemlyakh s povyshennym urovnem radiatsionnogo zagryazneniya [The Results of Long-Term Research on the Creation of Forest Cultures in Various Ways and Methods in Lands with High Level of Radiation Contamination]. *Sovremennoe sostoyanie i perspektivy vedeniya lesnogo khozyaystva na zagryaznennykh radionuklidami zemlyakh: materialy nauch.-prakt. konf.* [Current State and Prospects of Forest Management on Radionuclide-Contaminated Lands: Proc. Sci. Pract. Conf.]. Gomel, 2011, pp. 130–133.
7. Kudryashev A.V. Lesnye kul'tury na sel'skokhozyaystvennykh zemlyakh [Forest Cultures in Agricultural Lands]. *Problemy lesovedeniya i lesovodstva (Institutu lesa NAN Belarusi – 75 let): sb. nauch. tr.* [Problems of Forestry (Forest Institute of NAS of Belarus – 75 Years): Proc. National Academy of Sciences of Belarus], 2005, vol. 63, pp. 215–217.
8. *Lesokhozyaystvennyy reglament Klintsovskogo lesnichestva* [Forest Management Regulations of the Klintsov Forestry]. Bryansk, 2008. 189 p.
9. Maradudin I.I. *Osnovy organizatsii i vedeniya lesnogo khozyaystva v lesakh, zagryaznennykh radionuklidami v rezul'tate avarii na Chernobyl'skoy AES* [Foundations of Organization and Management of Forestry in the Forests Contaminated with Radionuclides as a Result of the Chernobyl Accident]. Moscow, 1990. 91 p.
10. Maradudin I.I., Panfilov A.V., Shubin V.A. *Osnovy prikladnoy radioekologii lesa: ucheb. posobie* [Fundamentals of Applied Forest Radioecology]. Moscow, 2001. 224 p.
11. Markina Z.N. *Printsipy lesovosstanovleniya na osnove analiza radioekologicheskogo sostoyaniya pochvenno-rastitel'nogo pokrova Bryanskoy oblasti* [Principles of Reforestation on the Basis of the Radioecological State Analysis of the Soil and Vegetation Cover in the Bryansk Region]. Bryansk, 2011. 135 p.
12. Markina Z.N., Kondratenko T.A. *Lesorastitel'nye svoystva pochv sosnovykh nasazhdeniy Bryanskoy oblasti, zagryaznennykh <sup>137</sup>Cs vsledstvie katastrofy na ChAES* [Forest Characteristics of Soils of Pine Plantings in the Bryansk Region Contaminated with <sup>137</sup>Cs Due to the Chernobyl Accident]. Bryansk, 2014. 106 p.
13. *OST 56-69–83. Probnye ploshchadi lesoustroitel'nye. Metod zakladki* [Industrial Standard 56-69–83. Forest Management Sampling Areas. Line-Intercept Method]. Moscow, 1983. 60 p.
14. *OST 56-81–84. Polevye issledovaniya pochvy. Poryadok i sposoby provedeniya rabot, osnovnye trebovaniya k rezul'tatam* [Industrial Standard 56-81–84. Soil Field Studies. The Order and Methods of Work, Main Requirements for the Results]. Moscow, 1985. 14 p.

15. *Pravila lesovosstanovleniya*: utv. prikazom MPR RF ot 16 iyulya 2007 g. № 183 [Rules of Reforestation: Approved by the Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation of July 16, 2007. No. 183]. 14 p.

16. *Pravila lesorazvedeniya*: utv. prikazom Rosleskhoza 10 yanv. 2012 g. № 1 [Rules of Afforestation: Approved by the Order of the Federal Forestry Agency of January 10, 2012. No. 1]. 7 p.

17. Prudnikov P.V., Karpechenko S.V., Novikov A.A., Polikarpov N.G. *Agrokhimicheskoe i agroekologicheskoe sostoyanie pochv Bryanskoy oblasti* [Agrochemical and Agroecological State of Soils of the Bryansk Region]. Bryansk, 2007. 608 p.

18. *Rasporyazhenie Pravitel'stva RF «Osnovy gosudarstvennoy politiki v oblasti ispol'zovaniya, okhrany, zashchity i vosproizvodstva lesov v Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 g.» ot 26 sent. 2013 g. № 1724-r.* [The Order of the Government of the Russian Federation “Fundamentals of State Policy in the Field of the Use, Protection and Reproduction of Forests in the Russian Federation for the Period to 2030” of September 26, 2013. No. 1724-r.]. Available at: <http://www.http://rg.ru/2013/10/01/lesa-site-dok.html> (accessed 03.03.2016).

19. Remezov N.P., Pogrebnyak P.S. *Lesnoe pochvovedenie* [Forest Soil Science]. Moscow, 1965. 324 p.

20. *Rukovodstvo po vedeniyu lesnogo khozyaystva v zonakh radioaktivnogo zagryazneniya ot avarii na Chernobyl'skoy AES (na period 1997–2000 gg.)*: utv. prikazom rukovoditelya Feder. sluzhby lesn. khoz-va Rossii № 40 ot 31.03.97 [Guidance on Forest Management in the Areas of Radioactive Contamination Due to the Chernobyl Accident (for the Period of 1997–2000): Approved by the Order of the Head of the Federal Forestry Agency of the Russian Federation No. 40 of March 31, 1997.].

21. Tarasenko V.P., Markina Z.N., Egorushkin V.A. *Kompleks lesomeliorativnykh meropriyatiy po snizheniyu negativnykh posledstviy katastrofy na ChAES v zone khvoynno-shirokolistvennykh lesov* [A Complex of Forest Melioration Measures to Reduce the Negative Consequences of the Chernobyl Accident in the Zone of Coniferous and Broad-Leaved Forests]. Bryansk, 2012. 120 p.

22. Kholopova L.B. *Dernovo-podzolistnye pochvy basseyna malogo vodotoka v Podmoskov'e* [Turf-Podsol Soils of Basin of a Small Waterflow in Districts Near Moscow]. *Gruntoznavstvo* [Soil Science], 2004, vol. 5, no. 1-2, pp. 16–26.

23. Anspaugh L.R., Catlin R.J., Goldman M. The Global Impact of the Chernobyl Reactor Accident. *Science*, 1988, vol. 242, no. 4885, pp. 1513–1519.

24. Calmon P., Thiry Y., Zibold G., Rantavaara A., Fesenko S. Transfer Parameter Values in Temperate Forest Ecosystems: a Review. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2009, vol. 100, pp. 757–766. doi: 10.1016/j.jenvrad.2008.11.005

25. Kruyts N., Delvaux B. Soil Organic Horizons as a Major Source for Radiocesium Biocycling in Forest Ecosystems. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2002, vol. 58, pp. 175–190.

26. Myttenaere C., Schell W.R., Thiry Y., Sombre L., Ronneau C., Deschrieck J.V. Modelling of Cs-137 Cycling in Forests: Recent Developments and Research Needed. *Science of the Total Environment*, 1993, vol. 136, pp. 77–91.

27. Nishita H., Taylor P., Alexander G.V., Larson K.H. Influence of Stable Cs and K on the Reactions of <sup>137</sup>Cs and <sup>42</sup>K in Soils and Clay Minerals. *Soil Sci.*, 1962, vol. 94, no. 3, pp. 187–197.

28. Shiraishi K., Muramatsu Y., Nakajima T., Yamamoto M., Los I., Kamarikov I., Buzinny M. Radionuclide Contents in Environmental Samples as Related to the Chernobyl Accident. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 1993, vol. 171, no. 2, pp. 319–328.

29. Thiry Y., Myttenaere C. Behaviour of Radiocaesium in Forest Multilayered Soils. *Journal of Environmental Radioactivity*, 1993, vol. 18, pp. 247–257.

30. Valcke E. *The Behaviour Dynamics of Radiocaesium and Radiostrontium in Soils Rich in Organic Matter*: Ph.D. Thesis. Belgium, 1992. 135 p.

Received on January 25, 2017

УДК 630\*2:582.475

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.100

## **ВЛИЯНИЕ ХЛОРСОДЕРЖАЩИХ УДОБРЕНИЙ НА МЕТАБОЛИЗМ ЕЛИ И СОСНЫ В СЕВЕРОТАЕЖНЫХ ФИТОЦЕНОЗАХ**

*В.Н. Коновалов<sup>1</sup>, д-р с.-х. наук, проф.*

*Л.В. Зарубина<sup>2</sup>, канд. с.-х. наук, доц.*

<sup>1</sup>Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002;

e-mail: v.konovarov@narfu.ru

<sup>2</sup>Вологодская государственная молочнохозяйственная академия им. Н.В. Верещагина, ул. Панкратова, д. 9-а, корп. 7, с. Молочное, г. Вологда, Россия, 160555;

e-mail: liliva270975@yandex.ru

Изучено влияние калийных удобрений с высоким (хлористый калий) и низким (сульфат калия) содержанием хлора на физиологические процессы ели и сосны в зависимости от состояния водного режима торфяной почвы. Установлено, что внесение в торфяную почву хлористого калия в качестве минеральной подкормки у деревьев приводит к накоплению в хвое не только калия, но и хлора. Особенно в больших количествах (более 50 %) хлор накапливается у растений в условиях дренированной почвы, в которых корни хорошо снабжаются кислородом воздуха. В переувлажненной почве хлористый калий быстро переходит в почвенный раствор и выносится за пределы корнеобитаемого горизонта, поэтому существенного накопления хлора в органах дерева не происходит. При совместном внесении хлористого калия и азота в результате возникающих между азотом и хлором антагонистических отношений накопления хлора у ели и сосны также не происходит. Измерение концентрации пигментов, интенсивности фотосинтеза и состояния энергопреобразующей системы показало значительное снижение данных физиологических показателей у растений, удобренных фосфорно-калийным удобрением, по сравнению с растениями, удобренными одним фосфором. Эти данные дают основание полагать, что главной причиной нарушения физиологических и ростовых процессов у растений является негативное действие ионов хлора на хлоропласты, поскольку на площадках с внесением только фосфора наблюдалось даже усиление таких процессов. Параллельное использование хлористого калия и сульфата калия в качестве минеральной подкормки деревьев в целом подтвердило предположение о негативном действии на древесные растения ионов хлора, которое особенно усиливалось на дренированной почве. Сделан вывод, что применение хлористого калия в качестве минеральной подкормки деревьев в целях повышения их продуктивности без участия азота является нежелательным и даже вредным для леса хозяйственным мероприятием. Это приводит к тому, что эффективность действия на древесные растения комплексных удобрений при наличии в них хлорсодержащего калийного удобрения значительно снижается.

*Ключевые слова:* ионы хлора, хлористый калий, сульфат калия, физиологические процессы, ель, сосна, влажность торфяной почвы.

---

*Для цитирования:* Коновалов В.Н., Зарубина Л.В. Влияние хлорсодержащих удобрений на метаболизм ели и сосны в северотаежных фитоценозах // Лесн. журн. 2017. № 3. С. 100–113. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.100

*Введение*

Среди факторов внешней среды, во многом определяющих интенсивность и направленность хода физиологических и ростовых процессов у растений, важное место принадлежит условиям минерального питания. В настоящее время имеется достаточное количество данных, свидетельствующих о высокой эффективности минеральных удобрений при выращивании спелой древесины. Установлено, что при правильном подборе и благоприятных почвенных условиях путем изменения минерального питания с помощью удобрений удастся воздействовать на весь ход обменных процессов у древесных растений. Минеральные элементы являются не только субстратом для метаболических реакций, но и частью регуляторного механизма, обеспечивающего приспособление растений к новым экологическим условиям. В опытах Д. Урзино [27], В.Н. Коновалова и А.В. Веретенникова [8] исключение из питательной смеси любого химического элемента приводило к нарушению активности физиологических и ростовых процессов у древесного растения. Однако не все виды удобрений и их дозы одинаково эффективны в действии на растения даже в близких природных условиях. П.Б. Раскатов [15] отмечает, что потребность растения в том или ином минеральном элементе определяется, главным образом, типом обмена веществ у него, участием данного элемента в биохимических процессах. Многочисленными исследованиями [8, 9, 15, 16, 24] установлено, что для обеспечения нормального хода физиологических процессов огромное значение также имеет форма присутствующего в используемой минеральной подкормке химического элемента. Поэтому выбор оптимальных доз и форм минеральных удобрений весьма важен с точки зрения их рационального использования в лесных насаждениях.

К числу факторов, оказывающих большое влияние на рост и интенсивность физиологических процессов у растений, относится и хлор. В растительном организме ионы хлора принимают непосредственное участие в окислительных реакциях, участвуют в энергетическом обмене, положительно влияют на поглощение кислорода корнями. Регулируя правильное функционирование устьичных отверстий, ионы хлора тем самым контролируют водный баланс растений, участвуют в процессе фотосинтеза, в частности в системе расщепления воды, следят за балансом катионов и транспортом их в растении, борются с лишним поглощением нитратов, чем препятствуют проникновению грибковых инфекций [1, 3, 4, 15]. По исследованиям О.З. Еремченко с соавторами [4], одновременное хлоридное засоление и ощелачивание корневого субстрата у растений кресс-салата повышало содержание каротиноидных пигментов в листьях и способствовало адаптации их к неблагоприятным факторам среды.

Основным источником поступления ионов хлора в растения служат калийные удобрения, в частности хлористый калий (KCl), который, согласно существующим рекомендациям, можно применять на всех почвах под основные возделываемые сельскохозяйственные культуры и лесные насаждения [1, 15, 16].

В состав KCl, кроме калия, входят также ионы хлора (0,9...1,0 г на 1 кг удобрения) [1], избыточное накопление которых, как показывает практика, для сельскохозяйственных растений часто бывает нежелательным и даже вредным, вызывающим у них нарушения хода обменных и ростовых процессов. Чрезмерная концентрация ионов хлора в растениях снижает содержание хлорофилла, уменьшает активность фотосинтеза, задерживает рост и развитие растений. У плодовых деревьев поглощение хлора в течение вегетационного сезона приводит к солевому отравлению, хлорозу листьев и растений [3, 17, 23]. Кроме сельскохозяйственных растений, факты отрицательного влияния ионов хлора на рост обнаружены и у многих древесных растений после внесения в древесостой хлорсодержащих калийных удобрений [9, 12, 17, 19, 20].

В естественных условиях ионы хлора в растениях содержатся обычно в небольших количествах ( $n \cdot 10^{-2} \dots 10^{-3}$  % на сухое вещество) [1, 16], поэтому негативного влияния на растение они, как правило, не оказывают. Избыточное накопление ионов хлора в органах растений после внесения в почву хлорсодержащих удобрений часто приводит к серьезным нарушениям в обменных процессах. Однако, несмотря на особую важность, физиологическая сторона этого явления у древесных растений до сих пор остается практически не изученной.

Цель настоящей работы – выяснение роли хлорсодержащих удобрений с разной концентрацией хлора в метаболизме ели и сосны в условиях разного водного режима торфяной почвы.

#### *Объекты и методы исследования*

В соответствии с поставленной целью нами в качестве опытного был взят участок осушаемого ельника осоково-хвощево-сфагнового (VI класс возраста, V-а бонитет), относящегося к сфагновой группе типов леса. Общая площадь участка – 22 га, его осушенная часть – 14 га. Высота ели около осушителей – 13,0 м, в контроле – 9,1 м, диаметр – соответственно 16,0 и 13,0 см.

Для проведения исследований на перпендикулярно проведенном к осушителем створе было оборудовано три экспериментальных участка со средним расстоянием между центром участка и осушителем: № 1 – 20 м, № 2 – 40 м, № 3 – 60 м. Контролем служила неосушенная часть древесостоя. Средняя глубина почвенно-грунтовых вод по данным 4-летних наблюдений на контроле и опытных участках (№ 1–3) составляла соответственно 16, 47, 29, 24 см. С удалением от каналов мелиорирующее действие осушения ослабевало. Это проявлялось в повышении уровня почвенно-грунтовых вод и снижении продуктивности древесостоев [9].

Дополнительно на каждом экспериментальном участке были заложены специальные площадки, на которых осуществлена подкормка деревьев минеральными удобрениями. Выяснение роли ионов хлора в метаболизме деревьев достигалось включением калийного удобрения сначала в состав минеральной смеси с участием фосфора (вариант РК – фосфор, калий), а затем фосфора и азота (вариант NPK – азот, фосфор, калий).

С учетом литературных данных [11, 13, 23, 25] были приняты следующие нормы внесения удобрений по действующему веществу, кг/га: N – 90, P – 120, K – 60 (в нормах, обычно рекомендуемых для подобных лесорастительных условий). На каждом экспериментальном участке удобрения внесены по следующей схеме: N<sub>90</sub>P<sub>120</sub>K<sub>60</sub>; P<sub>120</sub>K<sub>60</sub> (P<sub>120</sub> – перед началом вегетационного периода путем равномерного разбрасывания по поверхности почвы). Размер опытных площадок – 0,02 га, расстояние между центрами соседних площадок – 40...50 м. Каждой опытной площадке соответствовала контрольная. Общим контролем служил участок ельника, где осушение и внесение удобрений не проводили. В качестве удобрений использовали: мочевины, хлористый калий, фосфоритную муку, отдельно сульфат калия. Повторность опытов – двукратная.

Для изучения содержания в хвое и коре деревьев питательных элементов, в том числе и хлора, на каждой опытной площадке (с разной интенсивностью осушения, разными видами удобрений) и соответствующих контрольных составляли постоянные биогруппы из 3...5 деревьев. Образцы хвои для определения концентрации хлора отбирали ежегодно 2-3 раза в июне–августе в течение 3 лет. Одновременно с определением концентрации хлора у ели и сосны изучали интенсивность физиологических и ростовых процессов.

Концентрацию пигментов в свежесобранной хвое определяли методом количественной бумажной хроматографии в модификации Д.И. Сапожникова [14], интенсивность фотосинтеза – радиометрическим методом [2], ионы хлора – по В.Е. Ермакову в модификации Е.П. Ниловой [5]. Содержание хлорофиллов *a* и *b* в светособирающем комплексе (ССК) и хлорофилл-белковых комплексах фотосистем I и II (ХБК ФС I и II) рассчитывали исходя из того, что практически весь хлорофилл *b* содержится в ССК, а отношение хлорофилла *a* к хлорофиллу *b* в этом комплексе составляет 1,1–1,3 [18].

#### *Результаты исследования и их обсуждение*

В ходе опытов установлено, что внесение хлористого калия в осушаемую торфяную почву приводит к повышению в хвое ели и сосны не только содержания калия, но и хлора. Данные, приведенные в табл. 1, показывают, что содержание хлора в год внесения удобрений в вариантах NPK и PK в однолетней хвое деревьев ели, по сравнению с неудобренными деревьями, на участке № 1 повысилось на 12...52 %, на участке № 2 – на 18...30 %.

В вариантах более обводненного участка № 3 накопления хлора в хвое практически не было отмечено. На второй год содержание хлора в хвое опытных растений также продолжало оставаться достаточно высоким по сравнению с контролем, особенно на участках вблизи осушителей. Следует отметить, что после внесения в почву хлористого калия содержание хлора у деревьев повысилось не только в хвое, формирование которой происходило в год внесения удобрений, но и в 2-3-летней хвое.

Таблица 1

## Содержание хлора (% на сухую массу) в хвое ели на участках с КС1

№ участка	Возраст хвои	Первый год			Второй год		
		Контроль	НРК	РК	Контроль	НРК	РК
1	Молодая	0,065	0,085	0,092	0,067	0,074	0,071
	Однолетняя	0,065	0,083	0,088	0,067	0,077	0,074
	Двухлетняя	0,065	0,089	0,097	0,067	0,078	0,073
	Трехлетняя	0,065	0,083	0,097	0,067	0,079	0,075
2	Молодая	0,065	0,073	0,075	0,073	0,078	0,082
	Однолетняя	0,064	0,076	0,082	0,072	0,088	0,085
	Двухлетняя	0,066	0,077	0,080	0,074	0,075	0,082
	Трехлетняя	0,067	0,074	0,077	0,072	0,082	0,082
3	Молодая	0,070	0,074	0,070	0,077	0,068	0,070
	Однолетняя	0,070	0,072	0,072	0,079	0,072	0,075
	Двухлетняя	0,070	0,074	0,072	0,077	0,075	0,074

Поглощение хлора растениями из почвы шло более активно (до 52 %) в вариантах РК. Возможно, именно в этих условиях происходило наибольшее связывание минеральных ионов хлора, на что имеются указания и в литературе [20]. Добавление в питательную смесь азота (вариант НРК) тормозило поступление хлора в растения в результате антагонистического действия на него азота [3, 10].

Из этого следует, что после внесения хлорсодержащих калийных удобрений в осушенную болотную почву содержание хлора особенно значительно повышается у растений вблизи осушителей, где корни деревьев хорошо снабжаются кислородом воздуха, а почва в течение вегетационного периода остается относительно увлажненной. Переувлажнение почвы на наиболее удаленном от осушителя участке № 3 с высоким уровнем стояния почвенной воды обеспечило быстрое растворение удобрения и, возможно, частичный вынос хлористого калия за пределы корнеобитаемого горизонта, а также исключило тем самым избыточное поступление хлора в растения. Известно [1], что ионы хлора плохо связываются почвой и легко вымываются из нее атмосферными осадками. Повышение в хвое содержания хлора в 1,5–2,0 раза после внесения в почву хлорсодержащих калийных удобрений ранее было отмечено также в 54-летних культурах сосны [17].

Накопление хлора у деревьев негативно сказалось, прежде всего, на процессах, связанных с синтезом фотосинтетических пигментов (табл. 2). В течение первого года деревья на более осушенном участке № 1 на делянках с РК, содержали хлорофилла на 20 % меньше, чем на делянках с одним фосфором (достоверность разницы по отношению к варианту с одним фосфором  $t_{\text{факт}} = 7,4$ ). На участке № 2 это снижение составило не более 5 %. На более обводненном участке № 3 внесение хлористого калия совместно с фосфором даже способствовало небольшому увеличению концентрации зеленых пигментов

Таблица 2

## Влияние хлористого калия на содержание пигментов (мкг/г) у ели

Пигмент	Расстояние до осушителя, м								
	20			40			60		
	NPК	PK	P	NPК	PK	P	NPК	PK	P
Хлорофилл <i>a</i>	582	341	478	573	409	436	512	356	342
Хлорофилл <i>b</i>	268	260	271	254	262	274	318	243	246
Сумма <i>a</i> + <i>b</i>	850	601	749	827	671	710	830	599	588
Процент	100	70	88	100	81	86	100	72	71
Отношение Хл. <i>a</i> /Хл. <i>b</i>	2,17	1,31	1,76	2,26	1,56	1,59	1,35	1,47	1,39
ССК	590	572	596	559	576	613	700	535	541
ХБК	260	29	153	268	95	97	130	64	47
Отношение ССК/ХБК	2,27	19,70	3,90	2,09	6,06	6,32	5,38	8,36	11,50
Каротин (1)	141	180	164	144	118	126	195	224	154
Лютеин (2)	115	114	102	93	75	78	132	117	73
Виолакстин (3)	71	72	74	71	68	65	115	87	58
Сумма 1 + 2 + 3	327	366	340	308	261	269	442	428	285
Процент	100	112	104	100	85	87	100	97	65

по сравнению с внесением одного фосфора, по-видимому, за счет присутствия в минеральной подкормке калия и вымывания из почвы хлора. Наибольшее отрицательное влияние хлор оказывал на комплексы, контролируемые синтез хлорофилла *a*. Отношение хлорофилла *a* к хлорофиллу *b* на первых двух участках, на делянках с РК, уменьшилось до 1,31, на делянках с одним фосфором составило 1,76–1,59.

Ионы хлора оказали влияние и на состояние хлорофилла в энергопреобразующей системе хлоропластов. По нашим расчетам, у деревьев более осушенного участка № 1 на делянках с фосфорно-калийным удобрением ССК уменьшился на 4 % по сравнению с делянками, на которых был внесен один фосфор, объем ХБК ФС I и II, основных комплексов синтеза белка [18], – в 5,3 раза. На участке № 2 эти показатели сократились на 6 и 2 % соответственно. В результате отмеченные изменения на участке № 1 привели к увеличению отношения между этими двумя комплексами с 3,90 на делянках с фосфором до 19,70 на делянках с РК. Согласно литературным данным [18], рост отношения ССК к ХБК свидетельствует о снижении у растений количества всех мембранных комплексов энергопреобразующей системы хлоропластов и их продуктивности. Более подробно эти вопросы нами рассмотрены в работах [8, 9]. На более обводненном участке № 2 существенных изменений в соотношениях между этими двумя системами на второй год не наблюдалось. На делянках с полным удобрением негативное действие хлора на отношение ССК к ХБК на осушенных участках № 1 и № 2 не проявилось в результате, вероятно, нейтрализующего действия азота на ионы хлора [3, 10].

Относительно высокие соотношения (5,4...11,5) между указанными комплексами у ели на переувлажненном участке № 3 явились результатом негативного действия на хлоропласты, кроме удобрений, высоких уровней почвенно-грунтовых вод (12...24 см), нарушивших работу корней. Действие хлористого калия на содержание каротиноидных пигментов у ели на наиболее осушенном участке № 1 повысилось незначительно, а на № 2 и заболоченном участке № 3 не сказалось. Это привело к небольшому их накоплению. Позднее негативное действие хлористого калия на синтез зеленых пигментов, особенно хлорофилла *a*, нами было отмечено в условиях Крайнего Севера на суходольных почвах у ели в ельнике черничном, у сосны – в сосняках лишайниковых [7, 9]. Избыточное накопление хлора и возникшие при этом негативные изменения в энергопреобразующем комплексе у сосны и ели в дальнейшем отрицательно сказались на ассимиляции атмосферной углекислоты (CO<sub>2</sub>) и общем росте этих древесных пород (табл. 3).

Таблица 3

**Влияние КСІ на физиологические процессы ели  
в осушаемом осоково-кустарничково-сфагновом ельнике**

Возраст и показатели хвои	Расстояние до осушителя, м								
	20			40			60		
	НПК	РК	Р	НПК	РК	Р	НПК	РК	Р
<i>Фотосинтез, мг CO<sub>2</sub> / (г · ч)</i>									
Молодая	24,0	18,7	20,0	18,5	15,7	17,3	16,8	13,3	14,2
Однолетняя	22,1	17,6	19,6	16,4	14,4	15,8	14,5	12,5	12,8
Двухлетняя	18,0	15,7	18,3	13,3	11,6	12,2	13,7	10,9	10,9
Трехлетняя	15,4	12,6	15,7	12,0	9,6	10,4	11,0	10,3	10,2
<i>Дыхание хвои, мг CO<sub>2</sub> / (г · ч)</i>									
Молодая	1,07	1,07	1,02	1,71	1,70	1,61	1,47	1,47	1,39
Однолетняя	0,34	0,44	0,38	0,50	0,57	0,55	0,64	0,70	0,67
Двухлетняя	0,32	0,37	0,35	0,44	0,50	0,44	0,51	0,51	0,61
<i>Биометрические показатели 100 шт. однолетних хвоинок</i>									
Длина, см	18,5	15,7	17,4	17,6	12,9	16,7	15,3	13,6	14,0
Масса, г	0,49	0,39	0,44	0,46	0,33	0,39	0,41	0,35	0,35

Статистическая обработка всего собранного за 3 года на опытных участках ельника осоково-хвощево-сфагнового экспериментального материала показала, что у ели для наиболее осушенного участка № 1 различия в интенсивности фотосинтеза между вариантами с фосфорным и фосфорно-калийным удобрениями при освещенности 20...35 тыс. лк вполне достоверны в пользу варианта с одним фосфором ( $t_{\text{факт}} = 2,6...3,3$ ). У деревьев при использовании РК по отношению к контролю обнаружена лишь слабая тенденция наращивания фотосинтеза под действием этого удобрения, в то время как между

контролем и вариантом с одним фосфором разница достигла 33 %. На участке № 2 у деревьев улавливалась только небольшая тенденция к снижению интенсивности фотосинтеза на делянках с РК по сравнению с одним фосфором ( $t_{\text{факт}} = 0,3 \dots 1,4$ ). На опытных делянках участка № 3 такая тенденция вообще отсутствовала. Здесь, в условиях повышенной оводненности торфяной почвы, оба удобрения в течение 3 лет на ассимиляцию  $\text{CO}_2$  у деревьев оказывали небольшое, примерно равное положительное действие. На делянках с полным удобрением отрицательного действия ионов хлора на ассимиляционный аппарат ели отмечено не было [8, 9]. Отсутствие отрицательного действия хлора на фотосинтез в вариантах с полным удобрением может быть объяснено, вероятно, снятием отрицательного действия ионов хлора на ассимиляционный аппарат азотом как его антагонистом [3, 12].

На дыхание хвои ионы хлора оказали слабое действие. Так, на более осушенном участке № 1 дыхание хвои на делянках с РК по сравнению с одним фосфором возросло на 13 %. На других участках действие хлористого калия на дыхание хвои было менее заметно. опыты показывают, что в условиях избытка хлоридов дыхание растений осуществляется без запаса энергии в макроэнергетических пирофосфатных связях со значительным расходом энергетического материала [3]. Аналогичные результаты действия хлористого калия на ассимиляционный аппарат были выявлены и у сосны [9].

В целях проверки высказанного выше предположения о возможном негативном влиянии на древесные растения ионов хлора нами в одном из специально поставленных опытов у ели и сосны было проверено действие двух видов калийных удобрений (с разным содержанием в них ионов хлора) на интенсивность физиологических процессов [6, 9]. Объектом исследований служил 58-летний осушенный с помощью мелкой мелиорации сосняк травяно-сфагновый. Состав древостоя – 6СЗЕ1Б. Почва – торфяная переходная на средних торфах. Высота сосны на период исследований – 8,5 м, ели – 7,7 м. Осушение на объекте выполнено в 40-е гг. XX в. ручным способом с укреплением боковых стенок каналов деревянными щитами. Расстояние между осушителями – 140 м, рабочая глубина осушителей – 0,5 м. Уровень почвенно-грунтовых вод во время опыта на расстоянии 10 м от каналов колебался от 23 до 34 см, на расстоянии 60 м – от 9 до 17 см. Удобрения были внесены в почву в июне перед началом вегетации растений путем разбрасывания по ее поверхности. В качестве удобрений использовали KCl, содержащий в составе ионы хлора (0,9...1,0 г на 1 кг удобрения) [1], и бесхлорный сульфат калия  $\text{K}_2\text{SO}_4$  (содержание хлора 0,02...0,03 г на 1 кг удобрения) [1, 10] в дозах, обычно рекомендуемых для подобных лесорастительных условий, – 60 кг/га по действующему веществу [11, 25]. Результаты исследований интенсивности фотосинтеза у ели на опытных объектах приведены в табл. 4.

Таблица 4

**Влияние KCl и K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> на интенсивность фотосинтеза ели (мг CO<sub>2</sub>/(г·ч))  
при освещенности 30...35 тыс. лк**

Хвоя	Расстояние до осушителя, м					
	10 м			60 м		
	Контроль	KCl	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Контроль	KCl	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Первого года	45,7	42,7	48,4	28,3	32,4	29,4
	49,5	43,3	52,0	31,1	33,7	30,0
	45,2	40,7	58,9	39,7	39,0	40,7
	30,5	31,1	45,5	27,5	27,9	30,1
	52,5	50,9	57,7	26,3	33,6	32,9
Среднее	46,7	44,1	52,5	30,6	33,3	32,6
В процентах	100	94	112	100	109	106
Второго года	36,1	29,7	40,0	22,6	24,5	24,5
	26,3	24,0	28,5	16,0	18,5	19,3
	29,3	23,7	36,1	13,6	20,4	20,3
	30,7	26,1	34,9	17,4	20,6	21,4
Среднее	30,7	26,1	34,9	17,4	20,6	21,4
В процентах	100	85	116	100	120	123

Примечание. Аналогичные результаты получены и для сосны.

Сравнение данных фотосинтеза на контрольных и опытных делянках показало, что в условиях благоприятного водно-воздушного режима торфяной почвы (10 м от канала) хлористый калий и сульфат калия на ассимиляционный аппарат сосны и ели оказали неоднозначное влияние. У деревьев, удобренных хлористым калием, интенсивность фотосинтеза была на 6...15 % ниже, чем в контроле, а у деревьев, удобренных сульфатом калия, – на 12...16 % выше. В то же время статистический анализ с помощью t-критерия Стьюдента для обоих возрастов хвои не подтвердил необходимого уровня достоверности разницы между экспериментальными данными и контролем для обоих вариантов ( $t_{\text{факт}} \leq 3$ ), а между вариантами с сульфатом калия и хлористым калием разница оказалась достаточно высокой, более 18...34 % ( $t_{\text{факт}} \geq 3$ ).

У деревьев на участке, расположенном в средней части межканального пространства (60 м, уровень почвенно-грунтовых вод 9...17 см) оба вида калийного удобрения способствовали повышению интенсивности фотосинтеза на 6...23 %. Более существенное влияние на ассимиляционный аппарат в этих условиях оказал сульфат калия (до 23 %). Отсутствие негативного влияния на фотосинтез хлористого калия в условиях повышенной влажности торфяной почвы мы склонны объяснить задержкой поступления ионов хлора в дерево в результате нарушения работы корневой системы из-за возникшего анаэробноз и вымыванием части элемента за пределы корнеобитаемого слоя почвы [8]. При подкормке деревьев хлористым калием нами было отмечено снижение интенсивности фотосинтеза также и в других древостоях:

у ели в 120-летнем ельнике черничном, у сосны – в 70-летнем осушенном сосняке кустарничково-сфагновом и в 12-летнем сосняке лишайниковом [9]. Считается, что основной причиной токсического действия ионов хлора (при его избытке) на растение является накопление высоких концентраций аммиака во всех его органах в результате усиленного распада белка под действием хлора и нарушения процессов аминирования [3]. Результаты наших исследований вполне согласуются с данными П.С. Пастернака с соавторами [12], а также В.В. Савельева и М.Д. Нестеровича [19], которые в своих опытах также неоднократно наблюдали снижение интенсивности фиксации  $\text{CO}_2$  у сеянцев тех видов древесных пород, которых подкармливали хлористым калием.

Внесение хлористого калия в почву отрицательно сказалось также на развитии ассимиляционного аппарата древесных растений (табл. 4). Полученные результаты показали, что по сравнению с внесением только фосфорного удобрения хлористый калий в варианте с фосфором снизил длину и массу хвои соответственно на 10...12 и 11...15 %, что можно объяснить вредным воздействием ионов хлора на процессы деления и растяжения клеток. Факты отрицательного влияния ионов хлора на прирост древесных растений при внесении хлорсодержащих калийных удобрений неоднократно наблюдались в насаждениях из разных древесных пород во многих регионах России [12, 19, 20].

#### *Заключение*

Исследование влияния калийных удобрений (хлористого калия и сульфата калия) с высокой и низкой концентрацией хлора на жизненное состояние ели и сосны в осушаемых древостоях и на суходольных почвах показало, что использование для повышения роста и продуктивности древостоев хлористого калия с высокой концентрацией хлора без участия азота является нежелательным и даже вредным для леса хозяйственным мероприятием. Это приводит к тому, что и эффективность действия на древесные растения комплексных удобрений с участием хлорсодержащего калийного удобрения значительно снижается. В результате нельзя в полной мере использовать все полезные свойства вносимых в древостой не только калийных, но и полных удобрений, а значительное количество биологического урожая не будет получено.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артюшин А.М., Державин Л.М. Краткий справочник по удобрениям. М.: Колос, 1971. 288 с.
2. Вознесенский В.Л., Заленский О.В., Семихатова О.А. Методы исследования фотосинтеза и дыхания растений. М.; Л.: Наука, 1965. 306 с.
3. Гончарик М.Н. Физиологическое влияние ионов хлора на растения. Минск: Наука и техника, 1968. 250 с.
4. Еремченко О.З., Кусакина М.Г., Лузина Е.В. Содержание пигментов в растениях *Lepidium sativum* в условиях хлоридно-натриевого засоления и ошелачивания // Вестн. Перм. ун-та. Сер. Биология. 2014. С. 30–36.

5. *Ермаков А.И., Арасимович В.В., Смирнов-Иконников М.И., Мурри И.К.* Методы биохимического исследования растений. М.: Сельхозгиз, 1952. 520 с.
6. *Коновалов В.Н.* Эколого-физиологические особенности сосны и ели на осушенных и удобренных торфяных почвах Севера // Мелиорация лесов Европейского Севера. Архангельск: АИЛиЛХ, 1982. С. 66–75.
7. *Коновалов В.Н.* Сезонная динамика содержания пластидных пигментов в хвое ели в связи с внесением минеральных удобрений // Журн. общ. биологии. 1988. Т. XLIX, № 5. С. 611–617.
8. *Коновалов В.Н., Веретенников А.В.* Воздействие лесных мелиораций на некоторые физиологические процессы ели северной подзоны тайги // Экология таежных лесов. Архангельск: АИЛиЛХ, 1978. С. 54–61.
9. *Коновалов В.Н., Зарубина Л.В.* Эколого-физиологические особенности хвойных на удобренных почвах. Архангельск: САФУ, 2011. 338 с.
10. *Магницкий К.П., Шугаров Ю.А., Малков В.К.* Новые методы анализа растений и почв. М.: Сельхозгиз, 1959. 240 с.
11. *Паавилайнен Э.* Применение минеральных удобрений в лесу / пер. с фин. М.: Лесн. пром-сть, 1983. 96 с.
12. *Пастернак П.С., Смольянинов И.И., Угаров В.Н.* Влияние минеральных удобрений на культуры дуба и сосны // Лесн. хоз-во. 1974. № 12. С. 25–30.
13. *Победов В.С.* Применение удобрений в лесном хозяйстве. М.: Лесн. пром-сть, 1972. 201 с.
14. *Попова И.А.* Исследование пигментов пластид с помощью хроматографии на бумаге // Тр. БИН СССР. 1963. Вып. 16. С. 154–164.
15. *Раскатов П.Б.* Физиология растений с основами микробиологии: учеб. для вузов. М.: Сов. наука, 1954. 376 с.
16. *Ратнер Е.И.* Питание растений и применение удобрений. М.: Наука, 1965. 223 с.
17. *Рахтеенко Л.И., Пискунов В.С., Моисеенко Е.И.* Отзывчивость средневозрастных культур сосны на различные дозы и сроки внесения полного минерального удобрения // Повышение эффективности использования минеральных удобрений в лесном хозяйстве: материалы Всесоюз. науч.-техн. совещания. Гомель, 1984. С. 75–76.
18. *Рубин А.Б., Венедиктов П.С., Кренделева Т.Е., Пащенко В.З.* Регуляция первичных стадий фотосинтеза при изменении физиологического состояния растений // Фотосинтез и продукционный процесс. М.: Наука, 1988. С. 29–39.
19. *Савельев В.В., Нестерович М.Д.* Влияние минерального питания на фотосинтез и накопление хлорофилла // Изв. БССР. Сер. Биол. науки. 1980. № 1. С. 6–9.
20. *Стратонович А.И., Яковлев А.П.* Проявление отрицательных свойств некоторых видов удобрений при прорастании семян сосны и ели // Сб. науч. тр. Л.: Наука, 1974. Вып. 21. С. 16–26.
21. *Строгонов Б.П.* Физиологические основы солеустойчивости растений. М.: АН СССР, 1962. 366 с.
22. *Удовенко Г.В.* К вопросу о физиологической роли хлора в жизни растений // Роль минеральных элементов в обмене веществ и продуктивности растений. М.: Наука, 1964. С. 193–199.
23. *Шумаков В.С., Федорова Е.Л.* Применение минеральных удобрений в лесу. М.: Лесн. пром-сть, 1970. 89 с.
24. *Huikari O.* Afforestation of the Swam Lands of Finland // World Groops. 1978. Vol. 10, no. 1. Pp. 17–19.

25. Heikurainen L. The Effects of Manuring an Organic Soils // Proc. 5-th Colloquium on Forest Fertilization. Finland, Jyvaskyla. 1967. Pp. 197–205.

26. Marek M., Lomsky B. Vliv odlinych forem hnojeni ammonym dusikem ne fotosyntetickou produktivitu ruznych provenience smeku ztiepileho (*Picea abies* (L.) Karst.) // Lesnictvi. 1987. Vol. 33, no. 2. Pp. 109–120.

27. Ursino D.J. The translocation of <sup>14</sup>C-photoassimilate in Single Tree Progeny of White Spruce (*Picea glauca* (Moench) Voss) // Canad. J. Forest Res. 1973. Vol. 3, no. 2. Pp. 315–318.

Поступила 21.11.16

UDC 630\*2:582.475

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.100

### **The Influence of Chlorine-Containing Fertilizers on Metabolism of Spruce and Pine in the North Taiga Plant Communities**

*V.N. Konovalov<sup>1</sup>, Doctor of Agricultural Sciences, Professor*

*L.V. Zarubina<sup>2</sup>, Candidate of Agricultural 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: v.konovalov@narfu.ru

<sup>2</sup>Vologda State Dairy Farming Academy by N.V. Vereshchagin, ul. Pankratova, 9a, bl. 7,

Molochnoe, Vologda, 160555, Russian Federation; e-mail: liliva270975@yandex.ru

The effect of potash fertilizers with a high (potassium chloride) and low (potassium sulfate) content of chlorine on the physiological processes of spruce and pine, depending on the water regime of peat soil is studied. The introduction of potassium chloride as a mineral fertilizer for trees in peat soil leads to the potassium and chlorine accumulation in the needles. Chlorine accumulates in large quantities (more than 50 %) in plants in drained soil, where the roots are well supplied with oxygen. Potassium chloride rapidly passes into the soil solution in waterlogged soil, and is carried out of the rooting horizon; so the substantial chlorine accumulation in the tree parts does not occur. The combined introduction of potassium chloride and nitrogen does not lead to the chlorine accumulation in spruce and pine, as a result of the antagonistic relationships between chlorine and nitrogen. Measuring the concentration of pigments, photosynthesis intensity, and the state of the energy-converting system demonstrates a significant decrease of these physiological parameters of plants, enriched by phosphorus-potassium fertilizers, in comparison with plants, fertilized by phosphorus only. These data suggest that the main cause of the violation of physiological and growth processes in plants is the negative effect of chloride ions on the chloroplasts; since we observe their intensification in the sites with the phosphorus introduction. The combining use of potassium chloride and potassium sulfate as a mineral fertilizing of trees confirms the assumption of a negative effect of chloride ions on woody plants, which is particularly intensified in the drained soil. The use of potassium chloride as a mineral fertilizer for trees in order to increase

---

*For citation:* Konovalov V.N., Zarubina L.V. The Influence of Chlorine-Containing Fertilizers on Metabolism of Spruce and Pine in the North Taiga Plant Communities. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 3, pp. 100–113. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.100

their productivity without the participation of nitrogen is the undesirable and even harmful forest management activity. This leads to the fact that the effectiveness of complex fertilizers for woody plants with chlorine-containing potash fertilizers is significantly reduced.

*Keywords:* chloride ion, potassium chloride, potassium sulfate, physiological process, spruce, pine, peat soil moisture.

#### REFERENCES

1. Artyushin L.M., Derzhavin L.M. *Kratkiy spravochnik po udobreniyam* [Quick Reference of Fertilizers]. Moscow, 1971. 288 p.
2. Voznesenskiy L.V., Zalenskiy O.V., Semikhatova O.A. *Metody issledovaniya fotosinteza i dykhaniya rasteniy* [Methods of Photosynthesis and Plant Respiration Investigating]. Moscow; Leningrad, 1965. 306 p.
3. Goncharik M.N. *Fiziologicheskoe vliyaniye ionov khlorina na rasteniya* [Physiological Effect of Chloride Ions on Plants]. Minsk, 1968. 250 p.
4. Eremchenko O.Z., Kusakina M.G., Luzina E.V. Soderzhanie pigmentov v rasteniyakh *Lepidium sativum* v usloviyakh khloridno-natrievogo zasoleniya i oshchelachivaniya [The Content of Pigments in Plants *Lepidium sativum* Under Conditions of Chloride-Sodium Salinization and Alkalinization]. *Vestnik Permskogo universiteta. Seriya Biologiya* [Bulletin of Perm University. Biology], 2014, no. 1, pp. 30–36.
5. Ermakov A.I., Arasimovich V.V., Smirnov-Ikonnikov M.I., Murri I.K. *Metody biokhimicheskogo issledovaniya rasteniy* [Methods for Biochemical Research of Plants]. Moscow; Leningrad, 1952. 520 p.
6. Konovalov V.N. Ekologo-fiziologicheskie osobennosti sosny i eli na osushennykh i udobrennykh torfyanykh pochvakh Severa [Ecological and Physiological Characteristics of Pine and Spruce on Drained and Fertilized Peat Soils of the North]. *Melioratsiya lesov Evropeyskogo Severa* [Forest Reclamation of the European North]. Arkhangelsk, 1982, pp. 66–75.
7. Konovalov V.N. Sezonnaya dinamika sodержaniya plastidnykh pigmentov v khvoe v svyazi s vneseniem mineral'nykh udobreniy [Seasonal Dynamics of the Content of Plastid Pigments in the Needles in Connection with the Application of Mineral Fertilizers]. *Zhurnal obshchey biologii* [Biology Bulletin Reviews], 1988, vol. XLIX, no. 5, pp. 611–617.
8. Konovalov V.N., Veretennikov A.V. Vozdeystvie lesnykh melioratsiy na nekotorye fiziologicheskie protsessy eli severnoy podzony taygi [The Impact of Forest Reclamation on Some Physiological Processes of Spruce in the Northern Taiga Subzone]. *Ekologiya taezhnykh lesov* [Ecology of Taiga Forests]. Arkhangelsk, 1978, pp. 54–61.
9. Konovalov V.N., Zarubina L.V. *Ekologo-fiziologicheskie osobennosti khvoynykh na udobrennykh pochvakh* [Ecological and Physiological Characteristics of Conifers on Fertilized Soils]. Arkhangelsk, 2011. 338 p.
10. Magnitskiy K.P., Shugarov Yu.A., Malkov V.K. *Novye metody analiza rasteniy i pochv* [New Methods for the Analysis of Plants and Soils]. Moscow, 1959. 250 p.
11. Paavilaynen E. *Primeneniye mineral'nykh udobreniy v lesu* [Application of Mineral Fertilizers in a Forest]. Moscow, 1983. 96 p.
12. Pasternak P.S., Smol'yaninov I.I., Ugarov I.V. Vliyaniye mineral'nykh udobreniy na kul'tury duba i sosny [Influence of Mineral Fertilizers on Oak and Pine Cultures]. *Lesnoe khozyaystvo*, 1974, no. 12, pp. 25–30.
13. Pobedov V.S. *Primeneniye udobreniy v lesnom khozyaystve* [The Use of Fertilizers in Forestry]. Moscow, 1972. 201 p.

14. Popova I.A. Issledovanie pigmentov plastid s pomoshch'yu khromatografii na bumage [The Study of Plastid Pigments Using the Paper Chromatography]. *Trudy BIN SSSR* [Proceedings of the Botanical Institute of the USSR], 1963, vol. 16, pp. 154–164.
15. Raskatov P.B. *Fiziologiya rasteniy s osnovami mikrobiologii* [Plant Physiology with the Basics of Microbiology]. Moscow, 1954. 376 p.
16. Ratner E.I. *Pitanie rasteniy i primeneniye udobreniy* [Plant Nutrition and Fertilizer Application]. Moscow, 1965. 223 p.
17. Rakhtenko L.I., Piskunov V.S., Moiseenko E.I. Otzyvchivost' srednevozzrastnykh kul'tur sosny na razlichnyye dozy i sroki vnoseniya polnogo mineral'nogo udobreniya [Responsiveness of Middle-Aged Pine Cultures to Different Doses and Terms of Complete Fertilizer Application]. *Povysheniye effektivnosti ispol'zovaniya mineral'nykh udobreniy v lesnom khozyaystve: materialy Vsesoyuz. nauch.-tekhn. soveshchaniya* [Efficiency Improvement of the Use of Mineral Fertilizers in Forestry: Proc. All-Union Sci. and Eng. Meeting]. Gomel, 1984, pp. 75–76.
18. Rubin A.B., Venediktov P.S., Krendeleva T.E., Pashchenko V.Z. Regulyatsiya pervichnykh stadiy fotosinteza pri izmenenii fiziologicheskogo sostoyaniya rasteniy [Regulation of Primary Stages of Photosynthesis when Changing the Physiological State of Plants]. *Fotosintez i produktsionnyy protsess* [Photosynthesis and Production Process]. Moscow, 1988, pp. 29–39.
19. Savel'ev V.V., Nesterovich M.D. Vliyanie mineral'nogo pitaniya na fotosintez i nakopleniye khlorofilla [Effect of Mineral Nutrition on Photosynthesis and Chlorophyll Accumulation]. *Izv. BSSR. Ser. Biol. nauki* [Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Series of Biological Sciences], 1980, no. 1, pp. 6–9.
20. Stratonovich A.I., Yakovlev A.P. Proyavleniye otritsatel'nykh svoystv nekotorykh vidov udobreniy pri prorastanii semyan sosny i eli [The Manifestation of the Negative Properties of Certain Types of Fertilizers during the Pine and Spruce Seeds Germination]. *Sb. nauch. tr. Vyp. 21* [Collection of Scientific Papers. Vol. 21]. Leningrad, 1974, pp. 16–26.
21. Strogonov B.N. *Fiziologicheskie osnovy soleustoychivosti rasteniy* [Physiological Basis of Salinity Resistance]. Moscow, 1962. 365 p.
22. Udovenko G.V. K voprosu o fiziologicheskoy roli khloro v zhizni rasteniy [On the Physiological Role of Chlorine in the Plants Life]. *Rol' mineral'nykh elementov v obmene veshchestv i produktivnosti rasteniy* [The Role of Mineral Elements in Metabolism and Productivity of Plants]. Moscow, 1964, pp. 193–199.
23. Shumakov V.S., Fedorova E.L. *Primeneniye mineral'nykh udobreniy v lesu* [The Use of Mineral Fertilizers in a Forest]. Moscow, 1970. 89 p.
24. Huikari O. Afforestation of the Swam Lands of Finland. *World Groups.*, 1978, vol. 10, no. 1, pp. 17–19.
25. Heikurainen L. The Effects of Manuring on Organic Soils. *Proc. 5th Colloquium on Forest Fertilization*. Finland, Jyvaskyla, 1967, pp. 197–205.
26. Marek M., Lomsky B. Vliv odlinykh forem hnojeni ammonym dusikom ne fotosyntetickou produktivitu ruznych provenience smeku ztepileho (*Picea abies* (L.) Karst.). *Lesnictvi.*, 1987, vol. 33, no. 2, pp. 109–120.
27. Ursino D.J. The Translocation of <sup>14</sup>C-photoassimilate in Single Tree Progeny of White Spruce (*Picea glauca* (Moench) Voss). *Canad. J. Forest Res.*, 1973, vol. 3, no. 2, pp. 315–318.

Received on November 21, 2016



УДК 625.7/.8

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.114

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ  
ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТКОСОВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА  
ЛЕСОВОЗНОЙ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ  
В УСЛОВИЯХ ПОДТОПЛЕНИЙ**

*Ю.А. Макарова, асп.*

*А.Ю. Мануковский, д-р техн. наук, проф.*

Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, ул. Тимирязева, д. 8, г. Воронеж, Россия, 394087; e-mail: juliamja@mail.ru, mayu1964@mail.ru

Ключевой проблемой при строительстве лесовозных автомобильных дорог является негативное влияние природно-климатических факторов. Для большинства лесозаготовительных регионов одними из основных причин разрушения земляного полотна автомобильных дорог становятся сильное переувлажнение почв и частое возникновение паводков и селей. Повышенные требования к проектированию и строительству автомобильных дорог позволяют впоследствии уменьшить материальные затраты на их реконструкцию и ремонт. В условиях высокой влажности грунтов происходит значительное снижение несущей способности земляного полотна. Это явление, несмотря на возможность его прогнозирования и уменьшения его последствий, всегда носит разрушительный характер: примером тому может служить катастрофическое наводнение в Хабаровском крае в 2013 г. Целью данной работы является разработка альтернативного способа повышения прочностных характеристик земляного полотна автомобильных дорог, подвергающихся воздействию негативных природно-климатических факторов. На основании предварительного математического моделирования (в среде FlowVision) воздействия водного потока на земляное полотно лесовозной автомобильной дороги при различных скоростях движения можно сделать вывод, что наибольшей опасности подвергаются верхние откосы и основание земляного полотна. Во время паводков наиболее разрушительное воздействие оказывает текущая вода. Так, при скорости потока более 1,5 м/с деформация земляного полотна становится неизбежной. Усовершенствование методов укрепления автомобильных дорог позволит создать более долговечные и прочные конструкции защиты земляного полотна. Нами предложена новая конструкция защиты откосов земляного полотна, которая может быть использована при строительстве лесовозных автомобильных

---

*Для цитирования:* Макарова Ю.А., Мануковский А.Ю. Использование геосинтетических материалов для защиты откосов земляного полотна лесовозной автомобильной дороги в условиях подтоплений // Лесн. журн. 2017. № 3. С. 114–122. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.114

дорог в регионах, подверженных негативному влиянию паводков. Этот комбинированный вариант укрепления откосов даст возможность уменьшить степень разрушения автомобильных дорог в зависимости от времени и скорости воздействия водного потока на поверхность земляного полотна.

*Ключевые слова:* переувлажнение, разрушение дороги, паводок, откосы, защита земляного полотна, геосинтетические материалы.

### *Введение*

Состояние в Российской Федерации дорожной отрасли, представляющей собой сложную инфраструктуру, которая включает целый комплекс сопутствующих отраслей науки и производства, приобретает решающее значение при освоении регионов, богатых лесными ресурсами. Развитие сети лесовозных автомобильных дорог требует более углубленного изучения причин разрушения дорожного полотна и усовершенствования способов защиты в связи с влиянием на него увеличивающегося числа транспортных средств и внешней среды.

Так как ключевой проблемой при строительстве лесовозных автомобильных дорог является негативное влияние природно-климатических факторов, то для большинства лесозаготовительных регионов одними из основных причин разрушения земляного полотна дорог становятся сильное переувлажнение почв и частое возникновение паводков и селей. Эти природные явления приводят к деформированию земляного полотна автомобильных дорог и придорожных сооружений [3, 9]. Прогнозирование паводков лишь частично снижает негативные последствия влияния водного потока на дороги [6]. При проектировании автомобильных дорог в регионах, страдающих от наводнений, возрастают требования к безопасности и качеству земляного полотна.

Цель нашего исследования – разработать альтернативный способ повышения прочностных характеристик земляного полотна автомобильных дорог, подвергающихся воздействию негативных природно-климатических факторов.

### *Объекты и методы исследования*

Примером негативного влияния природно-климатических факторов на автомобильные дороги может служить катастрофическое наводнение в Хабаровском крае (2013 г.), которое ученые назвали грандиозным по мощности и совпадению множества факторов (см. таблицу).

В результате ливневых дождей, продолжавшихся около двух месяцев, были преодолены исторические максимумы уровней воды в р. Амур и его основных притоках [2]. Наводнение охватило весь бассейн Амура, включая огромную территорию российского Дальнего Востока и северо-восточных районов Китая. Наивысшие уровни воды на участке реки протяженностью

## Количество осадков на территории Амурской области в 2010–2013 гг.

Населенный пункт	Климатическая норма осадков, мм	Количество выпавших осадков, мм				Отношение суммы осадков за январь–август 2013 г. к годовой норме осадков, %
		за год			с 01.01. по 31.08.13 г.	
		2010	2011	2012		
Зея	538	592	358	446	630	117
Экимчан	691	652	644	637	560	81
Тыгда	504	430	628	360	838	166
Шимановск	495	616	391	559	698	141
Белогорск	549	617	438	481	791	144
Завитинск	596	582	622	611	730	122
Константиновка	526	462	424	556	594	113
Благовещенск	564	650	463	488	732	130
Свободный	574	720	445	535	885	154
Архара	645	568	523	577	740	115
Малиновка	613	596	532	581	767	125
Поярково	515	556	536	481	585	114

более 1000 км превысили исторические максимумы на 0,40...2,11 м. По предварительной оценке было повреждено около 1500 км дорог и 1000 км линий электропередачи, прямой экономический ущерб составил около 88 млрд р.

В условиях повышенной влажности грунтов на территориях бассейнов рек Забайкалья, Среднего и Южного Урала, дельты Волги происходит значительное снижение несущей способности земляного полотна автомобильных дорог. Повышение уровня грунтовых вод, паводки и половодье не только затрудняют движение автомобильного транспорта, но и значительно сокращают сроки службы дорожной одежды, увеличивая материальные затраты на ремонт и строительство новых дорог.

Более поздние случаи возникновения паводков были зафиксированы в 2015 г. в Липецкой области (д. Вторая Куликовка) на р. Дон и в Челябинской области, где были значительно повреждены мосты и прилегающие к ним дороги.

Проведя в среде FlowVision предварительное математическое моделирование воздействия водного потока на земляное полотно лесовозной автомобильной дороги при различных скоростях движения на примере участка Гайчанской лесовозной автомобильной магистрали в Хабаровском крае, мы сделали вывод, что наибольшей опасности подвергаются верхние откосы и основание земляного полотна [4]. Это происходит из-за повышения давлений на поверхность насыпи при возрастании скорости текучей жидкости, что увеличивает зоны возникновения турбулентности и вымывание грунта земляного полотна (рис. 1).

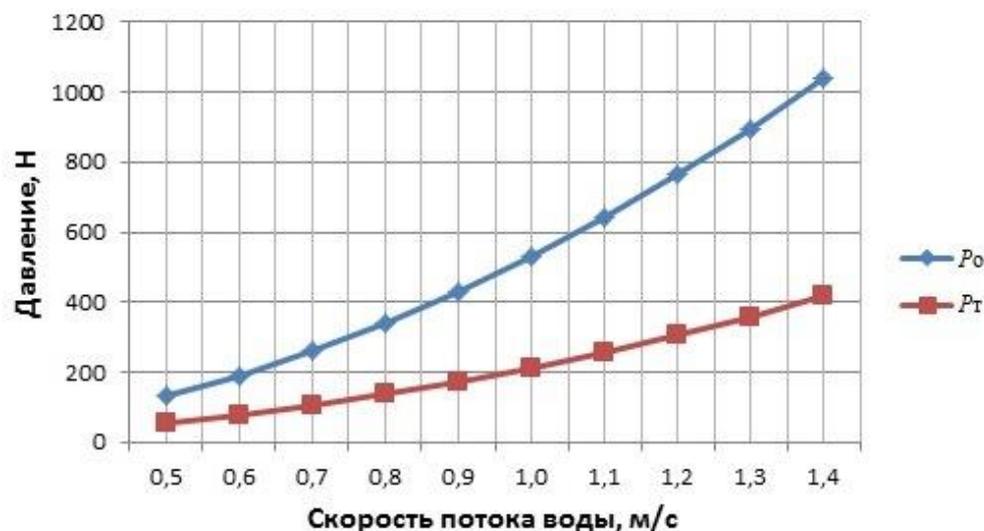


Рис. 1. Изменение давлений на откосы насыпи ( $P_0$ ) и в зоне турбулентности ( $P_T$ )

Разрушение откоса насыпи начинается под воздействием потока воды при скорости более 0,8 м/с с появлением активной зоны турбулентности. Во время паводков наиболее разрушительное воздействие оказывает текущая вода. Так, при скорости потока более 1,5 м/с разрушение основания земляного полотна и верхней его части становится неизбежным [1]. Причиной этому является то, что при увеличении скорости потока возрастает его сила, воздействующая на грунт земляного полотна автомобильной дороги, в то время как длина турбулентного следа уменьшается.

Во время паводков наибольшему риску подвержены участки дорог с высотой насыпи менее 1,5 м ввиду того, что уровень воды может превышать высоту насыпи на 0,1...0,5 м, частично или полностью накрывая земляное полотно и вызывая переувлажнение и размыв грунта при традиционных биологических способах укрепления насыпи.

Из-за особенностей климата в указанном регионе строительство водоотводных, защитных и укрепительных сооружений не всегда дает ожидаемый положительный результат. Известные способы и средства укрепления земляного полотна в виде защитных покрытий (щебеночные, гравийные, засев грунта травой, каменная наброска и др.) при высоте насыпи менее 1,5 м в условиях паводков не эффективны и подвержены вымыванию. Таким образом, в подобных условиях требуется применение альтернативных способов укрепления земляного полотна против разрушительного воздействия потока жидкости [5, 7]. Следовательно, необходимо проводить исследования процессов эрозии земляного полотна в условиях подтопления и разрабатывать альтернативные мероприятия по противодействию данному явлению.

Большой вклад в решение проблемы защиты земляного полотна от негативного воздействия климатических факторов в условиях подтопления внесли Виноградов А.Ю., Лиев К.Б., Чистяков И.В., Глагольев А.А., Чумаков В.Ф., Заморин В.В. и др. На основании анализа работ этих авторов можно сделать вывод, что основное направление исследований – снижение разрушительного воздействия паводков, их предупреждение и предотвращение. Поэтому совершенствование методов защиты земляного полотна от воздействия неблагоприятных факторов представляет для специалистов дорожной отрасли огромный интерес.

Совершенствование методов укрепления откосов автомобильных дорог позволяет создавать более долговечные и прочные конструкции для защиты земляного полотна, что в дальнейшем может уменьшить вероятность возникновения деформаций автомобильных дорог и снизить материальные затраты на их ремонт.

#### *Результаты исследования и их обсуждение*

В последние годы для укрепления откосов земляного полотна часто используют геосинтетические материалы, имеющие перед остальными как экономические, так и экологические преимущества [8]. Разнообразие наполнителей для ячеек георешеток, применяемых при строительстве, позволило не только расширить защитные свойства данного укрепления, но и найти способы усовершенствования конструкции.

Рассмотрим различные способы защиты земляного полотна от действия неблагоприятных природно-климатических факторов.

Чтобы компенсировать сдвиговые усилия и удерживать грунтовые массы при сохранении целостности конструкции, используют различные крепежные элементы (например, тросы, закрепленные на бетонных блоках). Бетонные упоры препятствуют деформации поверхности вершины откоса. Недостатком данной конструкции является то, что наполнитель, помещенный в ячейки георешетки, не защищает поверхность откоса от размыва водой. Для предотвращения этого можно использовать слой геотекстиля. Подобная конструкция достаточно устойчива к неблагоприятному воздействию природно-климатических факторов и предполагает различные варианты выполнения.

Наибольшее распространение получили конструкции, позволяющие осуществлять отвод воды с поверхности дорожного полотна по дренажному желобу. Примером может служить закрепленная анкерами георешетка, которая на вершине откоса и в центральной части заполняется пенобетоном, чтобы не утяжелять грунт за счет просачивания сквозь материал атмосферных осадков, а внизу – щебнем или другим материалом. Аналогичную функцию выполняет конструкция, в которой вначале на поверхность откоса укладывается геотекстильный материал и только потом георешетка, заполненная пенобетоном.

Проанализировав перечисленные способы, можно сделать вывод, что для защиты откосов земляного полотна от воздействия неблагоприятных природно-климатических факторов, в данном случае от влияния воды, требуется создание комбинированной конструкции, имеющей дополнительный слой защиты, который препятствует проникновению воды в грунт земляного полотна.

Возможным вариантом решения данной проблемы может служить конструкция, в которой для укрепления откоса использован геосотовый геосинтетический материал (рис. 2).

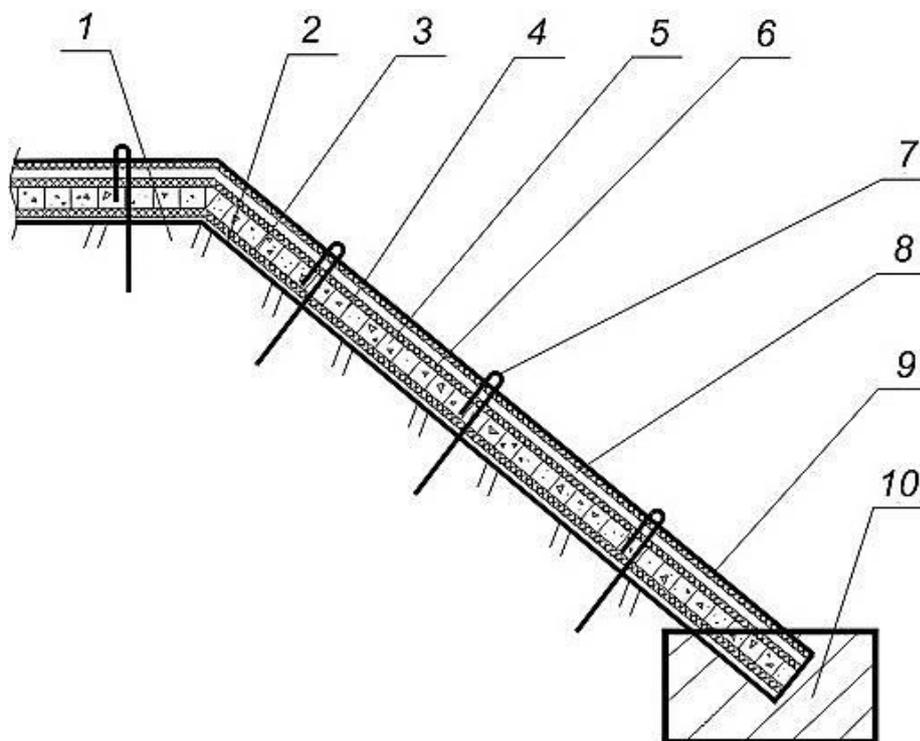


Рис. 2. Общий вид конструкции укрепления земляного полотна: 1 – поверхность откоса; 2 – геотекстильный материал; 3 – слой гидрофобной полимерно-грунтовой смеси; 4 – геосотовый геосинтетический материал; 5 – песчано-гравийная смесь; 6 – полимерная пропитка; 7 – анкеры; 8 – слой грунта; 9 – жидкий полимер; 10 – бетонный упор

Укрепление откоса геосотовым геосинтетическим материалом осуществляется следующим образом. На подготовленную поверхность откоса укладывают сверху вниз полотнища геотекстильного материала, которые обрабатывают слоем гидрофобной полимерно-грунтовой смеси. Поверх укладывают геосотовый геосинтетический материал, состоящий из перфорированных геополос, и закрепляют на поверхности откоса металлическими анкерами, а в нижней части – бетонным упором. Ячейки геосотового материала

заполняют песчано-гравийной смесью и подвергают полимерной пропитке. На поверхность геосотового геосинтетического материала, состоящего из геополос, наносят слой грунта, пропитываемого жидким полимером.

Вода стекает по верхнему слою укрепления и в дальнейшем отводится с помощью водоотводных сооружений. В случае подтоплений (при разумной продолжительности взаимодействия) такая конструкция укрепления земляного полотна должна не пропустить воду внутрь грунта и предотвратить его вымывание. Данная конструкция имеет два водонепроницаемых слоя, повышающих ее защитные способности.

Таким образом, новая конструкция защиты откосов земляного полотна в условиях подтоплений позволит уменьшить степень разрушения автомобильной дороги в зависимости от продолжительности и скорости воздействия водного потока на поверхность земляного полотна.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автомобильные дороги. Защита откосов автомобильных дорог от размыва: обзор. информ. М.: Росавтодор, 1992. 84 с.
2. Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов РФ в 2012 г.» / Отв. за вып.: Н.Г. Рыбальский, В.А. Омеляненко, А. Думнов. М.: НИИ-Природа, 2013. 370 с.
3. Борщ С.В., Симонов Ю.А., Христофоров А.В., Юмина Н.М. Краткосрочное прогнозирование уровней воды на реке Амур // Тр. Гидрометеорол. науч.-исслед. центра РФ. 2015. № 353. С. 26–45.
4. Макарова Ю.А., Макаров Д.А. Первичная подготовка Террейна для моделирования процессов, способствующих возникновению паводков // Сб. науч. тр. по материалам Междунар. заоч. науч.-практ. конф. «Актуальные направления научных исследований XXI в.: теория и практика». Воронеж: ВГЛТУ, 2015. № 5, ч. 4. С. 110–114.
5. Мануковский А.Ю., Макарова Ю.А. Проблема переувлажнения почв при вывозке лесоматериалов в сложных климатических условиях // Сб. науч. тр. по материалам Междунар. заоч. науч.-практ. конф. «Актуальные направления научных исследований XXI в.: теория и практика». Воронеж: ВГЛТУ, 2015. № 8, ч. 2. С. 282–286.
6. Управление риском трансграничных наводнений: опыт региона ЕЭК ООН. Нью-Йорк и Женева: ООН, 2009. 102 с.
7. Bednarouk S., Ovcharov E. Flood Prevention and Protection in Russia // United Nations. Seminar on Flood Prevention and Protection. Berlin, 7-8 oct. 1999. No. 37. Pp. 1–4.
8. Kief O., Schar Y., Pokharel S.K High Modulus Geocells for Sustainable Highway Infrastructure // Indian Geotechnical J. 2015. Vol. 45, no. 4. Pp. 389–400.
9. Ward R. Floods, a Geographical Perspective. London, 1978. 244 p.

Поступила 24.10.16

UDC 625.7/.8

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.114

### **Geosynthetics for Slope Protection of the Truck Haul Road Subgrade Under Conditions of Underflooding**

*Yu.A. Makarova, Postgraduate Student*

*A.Yu. Manukovskiy, Doctor of Engineering Sciences, Professor*

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, ul. Timiryazeva, 8, Voronezh, 394087, Russian Federation; e-mail: juliamja@mail.ru, mayu1964@mail.ru

The key problem in the construction of truck haul roads is a negative impact of natural and climatic factors. For most logging regions, one of the main reasons for the subgrade destruction of motor roads is a severe overwetting of soils and frequent occurrence of floods and mudflows. The increasing requirements for the design and construction of motor roads can subsequently reduce the material cost for their reconstruction and reconditioning. Under the conditions of increased soil moisture, the bearing capacity of the subgrade is significantly reduced. This phenomenon, despite the possibility of its predicting and reducing its consequences, is always devastating. An example of this is the catastrophic flooding in the Khabarovsk Territory in 2013. The work objective is to develop an alternative method to improve the strength characteristics of the subgrade of motor roads, exposed to negative natural and climatic factors. Based on the preliminary mathematical modeling in the Flow Vision environment of the water flow effect on the subgrade of the truck haul road at various speeds we can conclude that the upper slopes and the subgrade support face danger. During floods, the most damaging effect is provided by flowing water. Thus, at a flow rate of more than 1.5 m/s, deformation of the subgrade becomes inevitable. Improving the road strengthening methods will create more long life constructions for the subgrade protecting. We have proposed a new protection structure of subgrade slopes, which can be used in the construction of truck haul roads in the regions affected by the negative impact of floods. This combined version of slope strengthening will reduce the degree of road destruction depending on the time and speed of the water flow effect on the subgrade surface.

*Keywords:* waterlogging, road havoc, flooding, slope, subgrade protection, geosynthetic.

#### REFERENCES

1. *Avtomobil'nye dorogi. Zashchita otkosov avtomobil'nykh dorog ot razmyva* [Score Protection of Road Slopes]. Moscow, 1992. 84 p.
2. *Gosudarstvennyy doklad «O sostoyanii i ispol'zovanii vodnykh resursov RF v 2012 g.»* [State Report “On the State and Use of Water Resources of the Russian Federation in 2012”]. N.G. Rybal'skiy, V.A. Omel'yanenko, A. Dumnov, Rel. Moscow, 2013. 370 p.

---

*For citation:* Makarova Yu.A., Manukovskiy A.Yu. Geosynthetics for Slope Protection of the Truck Haul Road Subgrade Under Conditions of Underflooding. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 3, pp. 114–122. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.114

3. Borshch S.V., Simonov Yu.A., Khristoforov A.V., Yumina N.M. Kratkosrochnoe prognozirovaniye urovney vody na reke Amur [Short-Term Forecasting of Water Levels in the Amur River]. *Trudy Gidromettsentra Rossii* [Proceedings of the Hydrometeorological Research Center of the Russian Federation], 2015, no. 353, pp. 26–45.

4. Makarova Yu.A., Makarov D.A. Pervichnaya podgotovka Terreyina dlya modelirovaniya protsessov, sposobstvuyushchikh vozniknoveniyu pavodkov [Terrane Initial Training for Process Modeling, Contribute to the Emergence Flood]. *Sb. nauch. tr. po materialam Mezhdunar. zaoch. nauch.-prakt. konf. «Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI v.: teoriya i praktika»* [Proc. Int. Sci. Prac. Conf. “Actual Tendencies of the Scientific Research of the 21st Century: Theory and Practice”]. Voronezh, 2015, no. 5, part 4, pp. 110–114.

5. Manukovskiy A.Yu., Makarova Yu.A. Problema pereuvlazhneniya pochv pri vyvozke lesomaterialov v slozhnykh klimaticheskikh usloviyakh [The Problem of Water Saturation During the Logging in Adverse Climatic Conditions]. *Sb. nauch. tr. po materialam Mezhdunar. zaoch. nauch.-prakt. konf. «Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI v.: teoriya i praktika»* [Proc. Int. Sci. Prac. Conf. “Actual Tendencies of the Scientific Research of the 21st Century: Theory and Practice”]. Voronezh, 2015, no. 8, part 2, pp. 282–286.

6. *Upravlenie riskom transgranichnykh navodneniy: opyt regiona EEK OON* [Managing the Risk of Transboundary Flooding: the Experience of the UNECE Region]. New York; Geneva, 2009. 102 p.

7. Bednarouk S., Ovcharov E. Flood Prevention and Protection in Russia. *United Nations. Seminar on Flood Prevention and Protection. Berlin, 7-8 October 1999*. Berlin, 1999, no. 37, pp. 1–4.

8. Kief O., Schary Y., Pokharel S.K. High Modulus Geocells for Sustainable Highway Infrastructure. *Indian Geotechnical J.*, 2015, vol. 45, no. 4, pp. 389–400.

9. Ward R. *Floods, a Geographical Perspective*. London, 1978. 244 p.

Received on October 24, 2016

УДК 630\*232.211

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.123

## ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИМЕНЕНИЯ И КОМПОНОВКИ АГРЕГАТА ДЛЯ ПониЖЕНИЯ ПНЕЙ

*С.Н. Орловский<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доц.*

*А.И. Карнаухов<sup>2</sup>, канд. техн. наук, доц.*

<sup>1</sup>Красноярский государственный аграрный университет, пр. Мира, д. 90, г. Красноярск, Россия, 660049; e-mail: info@kgau.ru, orlovskiysergey@mail.ru

<sup>2</sup>Сибирский государственный аэрокосмический университет им. акад. М.Ф. Решетнёва, пр. Мира, д. 82, а/я 1075, г. Красноярск, Россия, 660049; e-mail: info@sibstu.ru, Sky\_angel\_33@mail.ru

Повышение эффективности использования лесохозяйственных агрегатов – важная проблема при срезании пней в процессе выполнения лесовосстановительных работ. Целью исследования являлось изучение влияния конструкции машины для срезания пней, ее рабочего органа и привода на эффективность выполнения технологического процесса. Программа исследований предусматривала анализ влияния конструктивных особенностей машины МУП-4 для срезания пней и проектного агрегата с фронтальной телескопической навеской рабочего органа и гидравлическим приводом рабочего органа на базе лесохозяйственного трактора ЛХТ-100А на производительность труда и утомляемость оператора. Важным техническим отличием от существующей машины МУП-4, имеющей привод рабочего органа от системы карданных передач и редукторов, в этом случае является то, что рабочий орган нашей конструкции приводится в действие гидравлическим двигателем, встроенным в рабочий орган, а телескопическая стрела его навески выполнена подпружиненной. Это позволяет производить срезание пней в режиме непрерывного движения, снижает износ узлов трансмиссии агрегата и повышает топливную экономичность при выполнении технологического процесса. Получены зависимости производительности труда от конструкции рабочего органа и его навески. Обоснован выбор конструкции рабочего органа и особенностей компоновки тракторного лесохозяйственного агрегата для срезания пней. Рассмотрено влияние конструкции базового и проектного агрегатов на частоту воздействия оператора на рычаги управления при выполнении технологического процесса. На основании полученных результатов возможно обосновать конструкцию и компоновку тракторного лесохозяйственного агрегата для срезания пней с рабочим органом в виде фрезы фронтальной навески и определить его мощностные параметры, что позволит увеличить производительность труда и снизить утомляемость оператора. Сделаны выводы о необходимости изменения конструкции машины для удаления пней МУП-4 и доказана целесообразность изменения привода рабочего органа и его навесной системы, что даст возможность осуществлять технологический процесс в режиме непрерывного движения с повышением производительности труда в 4 раза и уменьшением нагрузки на оператора в 2 раза.

---

*Для цитирования:* Орловский С.Н., Карнаухов А.И. Обоснование технологии применения и компоновки агрегата для понижения пней // Лесн. журн. 2017. № 3. С. 123–131. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.123

*Ключевые слова:* удаление пней, технология понижения пней, орудия, недостатки агрегатов, компоновка, новые конструкции.

### *Введение*

Технологические операции лесовосстановления включают предварительную подготовку площади (очистку от порубочных остатков, валежника, поросли, корчевку или фрезерование пней до уровня почвы), обработку почвы, посадку лесных культур и уход за ними. При этом применяются тракторные агрегаты для удаления пней как с пассивными, так и с активными рабочими органами.

К недостаткам агрегатов с пассивными рабочими органами относятся низкая производительность и высокие энергозатраты. Но их главный недостаток состоит в том, что при работе корчевателей вместе с пнем извлекается большая масса земли, происходит перемешивание почвенного горизонта, образуется подпневая яма. Все это приводит к нарушению биогеоценоза и обеднению верхнего слоя почвы питательными веществами [2].

Машины с активными рабочими органами измельчают пень или срезают его надземную часть, не нарушая поверхностного слоя почвы [3, 7].

Цель исследования – выбор конструкции привода рабочего органа тракторного агрегата для понижения пней и обоснование его общей компоновки для выполнения данной операции. При этом необходимо изучить влияние конструктивных особенностей агрегата на эффективность технологического процесса срезания пней на вырубках.

### *Объекты и методы исследования*

Наиболее эффективным устройством для удаления надземной части пней в настоящее время является машина МУП-4 [4, 5], которая исключает трудоемкие операции по корчевке пней, особенно крупных, на свежих вырубках за счет понижения пней до уровня почвы срезанием и дроблением их надземной части. Расчистка вырубков от пней при помощи данного метода устраняет недостатки корчевальных машин. Она предназначена для удаления дроблением надземных частей пней при подготовке вырубков под посадку лесных культур, устройстве волоков и дорог для вывозки заготовленной древесины.

Навесное оборудование машины МУП-4 включает: раму, смонтированную впереди трактора ТДТ-55А; поворотную стрелу; рабочий орган (фрезу с вертикальной осью вращения); гидроцилиндры для перемещения рабочего органа в вертикальной и горизонтальной плоскостях; трансмиссию привода фрезы, состоящую из раздаточной коробки, карданной, цепной и шарнирной передач, промежуточного вала и редуктора [4, 5].

Существующая технология понижения пней машиной МУП-4 на базе трактора ТДТ-55А и разработанное под нее орудие имеют существенный не-

достаток, заключающийся в том, что трансмиссия привода рабочего органа сложна конструктивно. Другой недостаток машины – цикличность ее работы, что требует выполнения большого количества операций по управлению, приводит к ускоренному износу узлов и деталей, большому количеству отказов, невысокой производительности. Невозможность изменить вылет стрелы машины не позволяет перемещать рабочий орган при дроблении пней размером больше диаметра рабочего органа без включения коробки переключения передач для передвижения трактора. Это крайне затрудняет перемещение рабочего органа на малую величину и повышает продолжительность процесса дробления пней.

#### *Результаты исследования и их обсуждение*

Производительность машины МУП-4 определяется из расчета ее загрузки в течение сезона (с ноября по апрель включительно) в связи с тем, что проектное орудие используется только в этот период времени.

Продолжительность работы орудия ( $T_{\text{ч}}$ , ч) устанавливается по производственному календарю:

$$T_{\text{ч}} = (T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}} - T_{\text{пр-кл}}) K_{\text{тг}} T_{\text{см}}, \quad (1)$$

где  $T_{\text{кал}}$ ,  $T_{\text{вых}}$ ,  $T_{\text{пр}}$ ,  $T_{\text{пр-кл}}$  – соответственно количество календарных, выходных, праздничных и природно-климатических дней;

$K_{\text{тг}}$  – коэффициент технической готовности,  $K_{\text{тг}} = 0,85$ ;

$T_{\text{см}}$  – продолжительность смены,  $T_{\text{см}} = 8$  ч.

Ориентировочно  $T_{\text{ч}}$  составляет 802 ч. При условной степени пнистости 700 шт./га. машина МУП-4 обрабатывает полосу шириной 2,6 м, при этом она останавливается перед каждым пнем, наводя стрелу на пень в вертикальной и горизонтальной плоскостях, срезает пень, поднимает орудие и продолжает движение [4].

Производительность машины МУП-4 ( $T$ , га/ч) можно определить по формуле

$$T = \frac{At_{\text{пов}}}{l} + \frac{AB}{Vl(1-\delta/100)} + (t_{\text{ост}} + t_{\text{стр}} + t_{\text{ср}} + t_{\text{дв}})n_{\text{пн}}, \quad (2)$$

где  $A$  и  $B$  – длина и ширина участка, м;

$l$  – ширина захвата рабочего органа, м;

$V$  – скорость движения, м/с;

$\delta$  – буксование гусениц трактора, %;

$t_{\text{пов}}$ ,  $t_{\text{ост}}$ ,  $t_{\text{стр}}$ ,  $t_{\text{ср}}$ ,  $t_{\text{дв}}$  – соответственно продолжительность поворота агрегата на следующий гон, остановки агрегата перед пнем, опускания и поворота стрелы с рабочим органом, среза пня, начала движения к следующему пню;

$n_{\text{пн}}$  – число пней на 1 га, шт.

Для участка площадью 1 га время, затраченное машиной МУП-4 на понижение пней по всей площади, составит 4,29 ч, т. е. производительность – 0,233 га/ч.

Учитывая коэффициент использования рабочего времени смены (для лесных работ он равен 0,8), переходим к определению эксплуатационной производительности:

$$S_3 = 0,233 \cdot 0,8 = 0,186 \text{ га/ч.}$$

На рис. 1 приведена схема обработки реального участка в Мининском лесхозе Красноярского края.

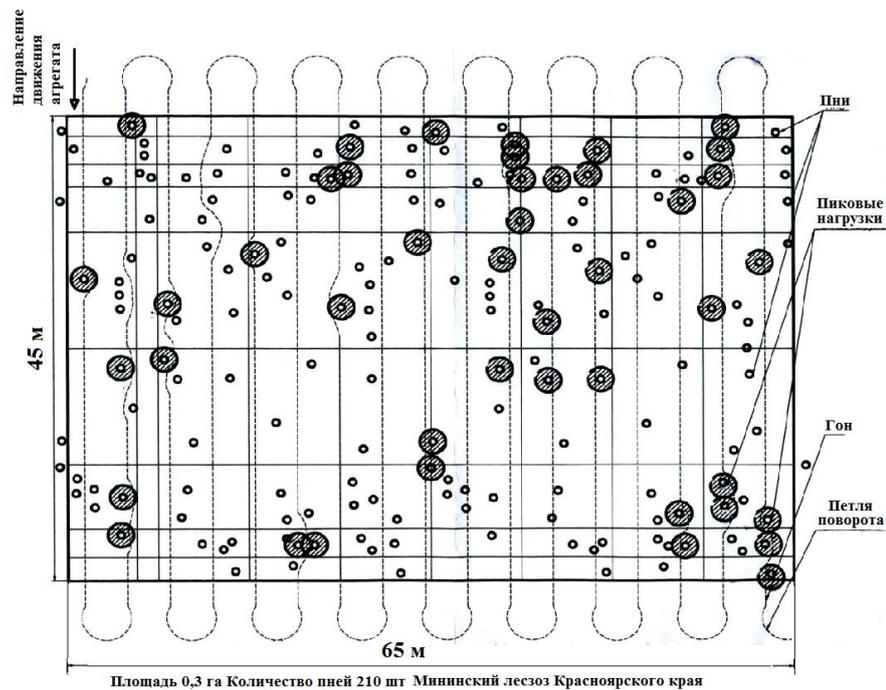


Рис. 1. Схема движения машины МУП-4 по участку

Из проведенных расчетов видно, что для увеличения производительности необходимо идти по пути перехода от циклического режима работы орудия в технологическом процессе к непрерывному движению [6, 7], что также обеспечит снижение нагрузки на оператора в процессе управления машиной.

Таким образом, обоснована необходимость создания нового рабочего органа для понижения пней при обеспечении высокой эффективности и минимальной энергоемкости рабочего процесса. Наиболее перспективной для этих целей является фреза с гидроприводом и обоснованными параметрами и компоновкой скалывающих и подрезных ножей.

В предлагаемом проекте рассматриваются усовершенствование привода МУП-4, а также обоснование конструкции навесного механизма (рис. 2).

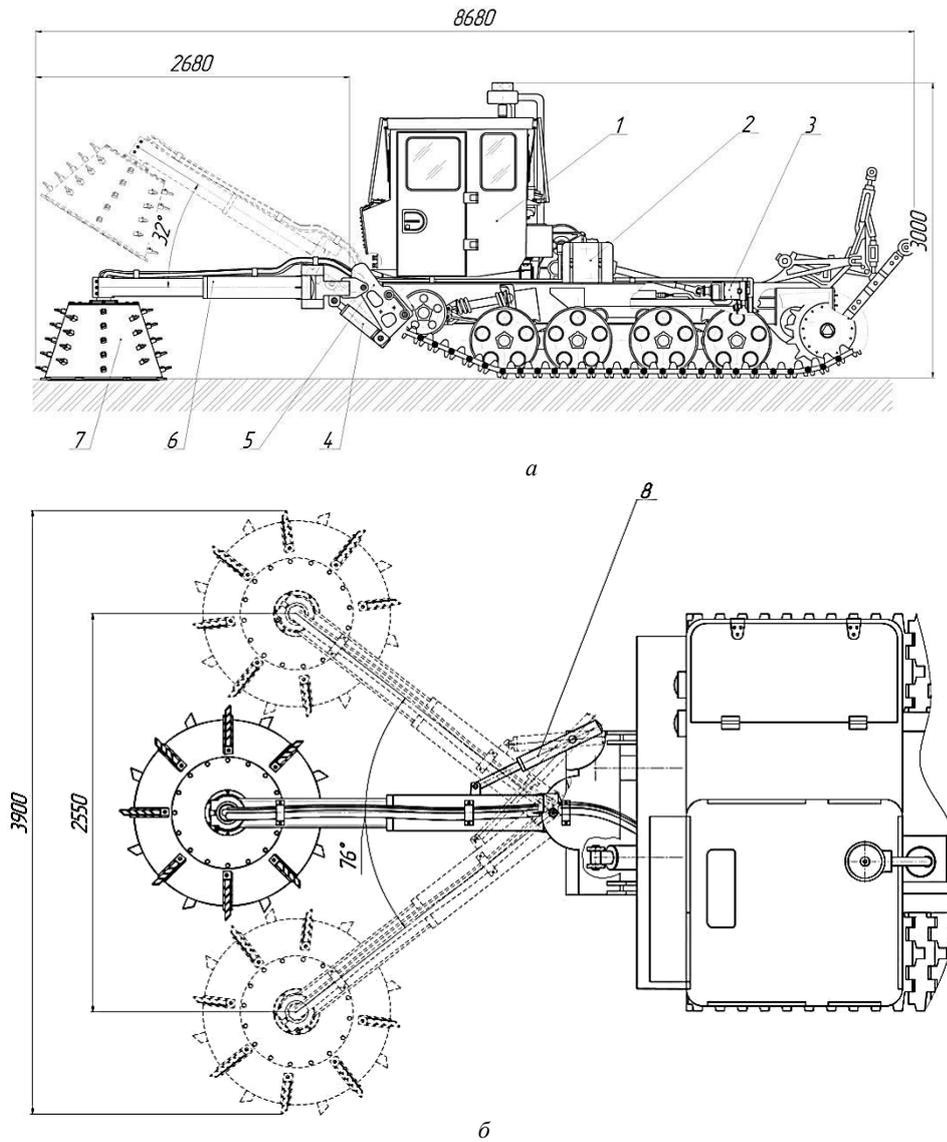


Рис. 2. Общий вид проектного орудия: *а* – вид сбоку, *б* – вид сверху; 1 – базовый трактор; 2 – бак масляный; 3 – гидронасос; 4, 8 – гидроцилиндры; 5 – навеска; 6 – стрела; 7 – фреза

Главной отличительной особенностью предлагаемой машины является гидростатический привод рабочего органа и телескопическая стрела его навески. Фреза должна приводиться во вращение аксиально-поршневым гидравлическим двигателем, который соединен трубопроводами с гидронасосом,

получающим энергию от вала отбора мощности трактора ЛХТ-100А. Такой привод гораздо эффективнее, экономичнее, проще в обслуживании, чем имеющаяся система многочисленных карданных валов и редукторов. Также следует увеличить размеры барабана фрезы, что позволит срезать пни большего диаметра, чем предусмотрено у МУП-4 (до 800 мм включительно). Орудие должно агрегатироваться с трактором посредством крепления телескопической выдвижной стрелы к его стандартной передней навеске. Гидравлический привод и редуктор фрезы расположены внутри ее корпуса (рис. 3).

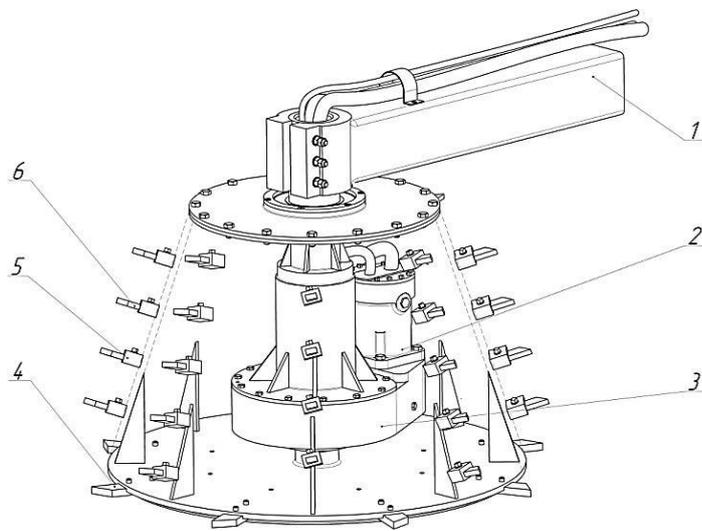


Рис. 3. Конструкция предлагаемого рабочего органа машины для понижения пней: 1 – телескопическая стрела; 2 – гидравлический двигатель; 3 – редуктор; 4 – резец подрезной; 5 – фиксатор резца; 6 – резец скальвующий

Технология использования проектного орудия не предполагает остановку перед каждым пнем для его понижения, что значительно увеличивает производительность и снижает стоимость работ [1]. Трактор движется на рабочей скорости, и оператор по ходу движения направляет стрелу на пень, мощность привода и телескопическая пружинная конструкция стрелы обеспечивают его безостановочное удаление.

При той же степени пнистости проектная машина обрабатывает полосу шириной 3,9 м. Производительность проектной машины при тех же исходных данных составляет 0,952 га/ч (см. формулу (2)).

Анализируя данные по производительности сравниваемых базового и проектного агрегатов для понижения пней, можно сделать вывод, что изменение конструкции навесной системы и привода фрезы позволит увеличить производительность от 0,233 до 0,952 га/ч, т. е. в 4,08 раза.

Техническая характеристика проектного орудия для понижения пней (базовый агрегат – трактор ЛХТ-100А):

Мощность, кВт.....	97
Масса с орудием кг.....	12 000
Габаритные размеры (длина × ширина × высота), мм.....	8 680 × 2 575 × 3 000
Рабочая скорость, км/ч.....	2,8
Диаметр срезаемых пней не более, м.....	1,0
Тип рабочего органа.....	Фрезерный
Частота вращения фрезы, мин <sup>-1</sup> .....	375
Ширина обрабатываемой полосы, м.....	3,9
Производительность, га/ч.....	0,95
Обслуживающий персонал.....	1 тракторист

Анализ частоты воздействия оператора на управление по двум вариантам приведен в таблице.

**Частота воздействия оператора на рычаги управления по базовому и проектному вариантам использования орудия на 1 га (без учета поворотов)**

Операция	Число операций по выжиму рычагов, шт., по вариантам	
	базовому	проектному
Начало работы	4	4
Остановка перед пнем	700	Нет**
Наведение стрелы на пень	2 × 700*	2 × 700
Дробление пня	700	Нет**
Итого операций на 1 га обрабатываемой площади	2804 (точных)	1404 (не требующих особой точности)
Снижение трудоемкости управления	–	На 50 %

\* Принимается для сравнения, что степень пнистости равна 700 шт./га, технология понижения пней МУП-4 предполагает остановку возле каждого пня, включение орудия и дробление пня.

\*\* По проектному варианту считается, что трактор движется на рабочей скорости и оператор по ходу движения направляет телескопическую стрелу на пень, мощность фрезы и сжатие стрелы обеспечивают безостановочное дробление пня.

Анализируя представленные в таблице данные, можно сделать вывод, что частота воздействия оператора на рычаги управления на проектном агрегате снижается в 2 раза, т. е. уменьшается утомляемость оператора.

Таким образом, рассматривая процесс понижения пней с точки зрения производительности и частоты воздействия оператора на рычаги управления, можно сделать вывод о необходимости внесения изменений в конструкцию МУП-4 – машины для удаления пней. Наиболее целесообразно усовершенствовать привод рабочего органа и его навесную систему, что позволит осуществлять технологический процесс в режиме непрерывного движения с повышением производительности труда в 4 раза и снижением нагрузки на оператора в 2 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Беликов Е.В., Попиков В.П., Саулин С.Н., Посметьев В.В.* Методика математического расчета работы машины для удаления пней // Природопользование: ресурсы, техническое обеспечение: межвуз. сб. науч. тр. Воронеж: ВГЛТА, 2009. Вып. 4. С. 144–150.
2. *Гордиенко М.И., Нагорная Р.В., Кистень А.В.* Влияние раскорчевки вырубок на свойства почвы // Лесн. журн. 1986. № 1. С. 8–15. (Изв. высш. учеб. заведений).
3. *Коришун В.Н.* Роторные рабочие органы лесохозяйственных машин: концепция конструирования: моногр. Красноярск: СибГТУ, 2003. 228 с.
4. Паспорт машины для удаления пней МУП-4. Л.: ЛенНИИЛХ, 1982. 43 с.
5. *Поздняков Е.В., Дручинин Д.Ю.* Способы и современные средства механизации для удаления пней // Молодой ученый. 2013. № 11. С. 173–176.
6. *Поздняков Е.В.* Обоснование параметров и режима работы площадкоделателя вокруг пней: дис. ... канд. техн. наук. Воронеж, 2015. 178 с.
7. *Jones P.C., Hawkend J.H.* Stump grinders. USA, Austin, 2014. 156 p.

Поступила 24.10.16

UDC 630\*232.211

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.123

**Application and Configuration Technology of the Stump Lowering Device**

*S.N. Orlovskiy<sup>1</sup>, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor*

*A.I. Karnaukhov<sup>2</sup>, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor*

<sup>1</sup>Krasnoyarsk State Agrarian University, pr. Mira, 90, Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation; e-mail: info@kgau.ru, orlovskiysergey@mail.ru

<sup>2</sup>Siberian State Aerospace University named after academician M.F. Reshetnev, pr. Mira, 82, Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation; e-mail: info@sibstu.ru, Sky\_angel\_33@mail.ru

The key problem of the stump lowering in the process of reforestation is to increase the efficiency of the use of forest devices. The work objective is to investigate the influence of the design of a stump grinder, its operating device and a drive system on the efficiency of the process. The research program includes the impact analysis of the design features of a stump grinder MUP-4 and a design unit with a forward telescopic mounting of the operating device and hydraulic drive of the operating device on the basis of the forestry tractor LHT-100A on labor productivity and operator's fatigue. The operating device of our design is driven by a hydraulic motor built into the operating element, and the telescopic boom of its mounting is spring-loaded. This is an important technical difference from the existing machine MUP-4 with an operating device drive from the system of cardan drives and reducers. The listed above features provide the stump lowering in the continuous motion mode, reduce the wear

---

*For citation:* Orlovskiy S.N., Karnaukhov A.I. Application and Configuration Technology of the Stump Lowering Device. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 3, pp. 123–131. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.123

of the drivetrain components of the unit and improve the fuel efficiency in the process. We obtain the dependences of labor productivity on the design of the operating device and its mounting. The choice of the design of the operating device and configuration features of the tractor forestry unit for the stump lowering is substantiated. The impact of the structure of basic and design devices on the frequency of the operator's influence on the control levers in the technological process is considered. Based on the obtained results, we can justify the structure and configuration of a tractor forestry stump lowering unit with the operating device in the form of a forward mounting cutter and determine its power parameters, which will increase labor productivity and reduce operator fatigue. We have made the conclusions about the need to change the design of a stump grinder MUP-4 and have proved the expediency of changing a drive of the operating device and its hinged system, which will allow carrying out the technological process in the continuous motion mode with a 4-fold increase in labor productivity and a 2-fold decrease in the operator's load.

*Keywords:* grubbing, stump lowering technology, unit deficiency, new construction, option arrangement, tool.

#### REFERENCES

1. Belikov E.V., Popikov V.P., Saulin S.N., Posmet'ev V.V. Metodika matematicheskogo rascheta raboty mashiny dlya udaleniya pney [Mathematical Calculation Technique for the Grubbing Machine Operation]. *Prirodopol'zovanie: resursy, tekhnicheskoe obespechenie* [Nature Management: Resources, Technical Support]. Voronezh, 2009, no. 4, pp. 144–150.
2. Gordienko M.I., Nagornaya R.V., Kisten' A.B. Vliyaniye raskorchevki vyrubok na svoystva pochvy [The Impact of Felling Stumping on the Soil Properties]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 1986, no. 1, pp. 8–15.
3. Korshun V.N. *Rotornyye rabochie organy lesokhozyaystvennykh mashin: kontseptsiya konstruirovaniya: monogr.* [Rotary Working Bodies of Forestry Machineries: Design Concept]. Krasnoyarsk, 2003. 228 p.
4. *Pasport mashiny dlya udaleniya pney MUP-4.* [The Certificate of the Grubbing Machine MUP-4]. Leningrad, 1982. 43 p.
5. Pozdnyakov E.V., Druchinin D.Yu. Sposoby i sovremennyye sredstva mekhanizatsii dlya udaleniya pney [Methods and Modern Means of Grubbing Mechanization]. *Molodoy uchenyy* [Young Scientist], 2013, no. 11, pp. 173–176.
6. Pozdnyakov E.V. *Obosnovaniye parametrov i rezhima raboty ploshchadkodelatelya vokrug pney: dis. ... kand. tekhn. nauk* [Parameters and the Operating Mode Justification of the Site Maker Around the Stumps: Cand. Eng. Sci. Diss.]. Voronezh, 2015. 178 p.
7. Jones P.C., Hawkend J.H. *Stump Grinders*. USA, Austin, 2014. 156 p.

Received on October 24, 2016



МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ  
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 674.05

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.132

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СНИЖЕНИЯ ВИБРАЦИИ  
ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ**

*А.М. Буглаев, д-р техн. наук, проф.*

*М.П. Бокачева, инж.*

*В.В. Сиваков, доц., канд. техн. наук*

Брянский государственный инженерно-технологический университет, пр. Станке Димитрова, д. 3, г. Брянск, Россия, 241037; e-mail: ABuglaev-bgita@yandex.ru, marya.corosteleva2010@yandex.ru, svv000@yandex.ru

Повышение эффективности деревообрабатывающего оборудования является одной из важнейших задач, стоящих перед отечественными предприятиями в условиях острой конкурентной борьбы с зарубежными производителями. Цель работы – исследование возможности снижения вибрации деревообрабатывающих станков как на стадии проектирования, так и в условиях их эксплуатации. Приведены теоретические сведения по расчету виброускорения, виброскорости, динамической системы станка и основные направления снижения вибрации деревообрабатывающего оборудования. Выполнены экспериментальные исследования с помощью модернизированного вибростенда БЖ4, предназначенного для изучения вибрации механизмов и машин. По результатам измерений оценена эффективность виброзащиты для каждой октавной полосы частот. Наибольший уровень вибрации отмечен на нижней плоскости объекта виброизоляции, непосредственно контактирующей с источником вибрации, несколько меньший – на боковых плоскостях по направлению горизонтальных осей  $X$  и  $Y$  ортогональной системы координат. Еще ниже уровень вибрации был на верхней плоскости объекта виброизоляции по направлению оси  $Z$ . Установлено, что при наличии виброзащитных модулей вибрация уменьшается на 5...20 %. Анализ результатов исследований позволяет сделать вывод о возможности существенного снижения массы и металлоемкости деревообрабатывающих станков в процессе их проектирования и изготовления. Дополнительные возможности для уменьшения вибрации появляются при правильном выборе и эксплуатации режущего инструмента.

*Ключевые слова:* станки, вибрация, деревообработка, виброускорение, снижение вибрации.

---

*Для цитирования:* Буглаев А.М., Бокачева М.П., Сиваков В.В. Исследование возможности снижения вибрации деревообрабатывающего оборудования // Лесн. журн. 2017. № 3. С. 132–142. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.132

*Введение*

При эксплуатации деревообрабатывающего оборудования возникают значительные вибрации, негативно влияющие на технико-экономические и санитарно-гигиенические показатели деревообрабатывающих цехов. Повышенные вибрации при работе деревообрабатывающего станка уменьшают срок его эксплуатации, приводят к поломкам, существенно снижают точность, увеличивают шероховатость обработанных деталей. Особенно актуальной данная проблема становится при эксплуатации станков в условиях низких температур, когда существенно возрастает сила резания, необходимая для отделения стружки от древесины [10, 11].

Целью исследований является поиск возможностей снижения вибрации деревообрабатывающего оборудования как на стадии проектирования, так и в условиях эксплуатации.

*Объекты и методы исследования*

Для установления путей снижения вибрации проводятся теоретические и экспериментальные исследования. Теоретические исследования базируются на анализе известных зависимостей для оценки динамического качества деревообрабатывающих станков и параметров вибрации.

Для санитарного нормирования и контроля рекомендуется использовать средние квадратические значения виброускорения  $a$  или виброскорости  $V$ .

Логарифмические уровни виброускорения ( $L_a$ , дБ) и виброскорости ( $L_v$ , дБ) определяют по следующим формулам:

$$L_a = 20 \lg \frac{a}{10^{-6}} \quad (1)$$

$$L_v = 20 \lg \frac{V}{5 \cdot 10^{-8}} \quad (2)$$

Нормируемыми показателями вибрационной нагрузки на оператора в процессе труда являются одночисловые параметры (корректированное по частоте значение контролируемого параметра, доза вибрации, эквивалентное корректированное значение контролируемого параметра) или спектр вибрации [3].

Корректированное по частоте значение контролируемого параметра  $U$  или его логарифмический уровень  $L_{ui}$  находят, используя следующие формулы:

$$\tilde{U} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (U_i K_i)^2}; \quad (3)$$

$$L_{ui} = 10 \lg \sum 10^{0,1(L_{ui} + L_{ki})}, \quad (4)$$

где  $n$  – число частотных полос в нормируемом диапазоне;  
 $U_i$  и  $L_{ui}$  – среднее квадратическое значение контролируемого параметра вибрации (виброскорость или виброускорение) и его логарифмический уровень в  $i$ -й частотной полосе;  
 $K_i$  и  $L_{ki}$  – весовые коэффициенты  $i$ -й частотной полосы для среднего квадратического значения контролируемого параметра или его логарифмического уровня.

Дозу вибрации определяют по формуле

$$D = \int_0^T \tilde{U}^m(t) dt, \quad (5)$$

где  $T$  – время воздействия вибрации, с;  
 $\tilde{U}(t)$  – скорректированное по частоте значение контролируемого параметра в момент времени  $t$ , м·с<sup>-2</sup> или м·с<sup>-1</sup>;  
 $m$  – показатель эквивалентности физиологического воздействия вибрации, устанавливаемый санитарными нормами.  
 Эквивалентное скорректированное значение контролируемого параметра

$$U_{\text{эКВ}} = \sqrt[m]{\frac{D}{T}}. \quad (6)$$

Нормативные скорректированные по частоте и эквивалентные скорректированные значения составляют от 75 до 126 дБ (виброускорения – от 0,028 до 2,000 м/с<sup>2</sup>) [3].

По данным [1], при частоте вибрации 50...150 Гц и амплитуде колебаний 0,101...0,300 мм возможно «заболевание», при частоте 150...250 Гц и амплитуде 0,101...0,300 мм возникает виброболезнь.

Допустимые значения ускорения колебательной системы составляют от 0,13 до 1,20 м/с<sup>2</sup> [1].

В связи с этим можно отметить, что применение различных показателей вибрации затрудняет оценку ее влияния на организм рабочего.

Однако на основании анализа как стандартов [3, 4], так и другой литературы [1, 5, 6] можно сделать вывод, что снижение уровней вибрации и шума благоприятно влияет на здоровье и производительность труда рабочего.

Наиболее целесообразным путем снижения шума и вибрации в цехах деревообрабатывающих предприятий является совершенствование конструкций оборудования, в частности деревообрабатывающих станков. Основные показатели деревообрабатывающих станков, в том числе и нормы вибрации, устанавливаются при их проектировании.

К сожалению, основным методом снижения вибраций отечественного оборудования служит увеличение его массы, однако это не только приводит к повышению его цены, но и увеличивает расходы на эксплуатацию, техническое обслуживание и ремонт [2]. Поэтому возникает необходимость использовать более рациональные методы ее снижения.

Динамическая система станка – это совокупность упругой системы (УС) и рабочих процессов.

Как известно, УС станка включает передаточный механизм, приспособление, инструмент и обрабатываемую деталь. Ее рассматривают как колебательную.

Рабочие процессы представляют собой физические процессы, происходящие в станке (резание, трение, процессы в двигателе). Они воздействуют на УС силами резания  $F_p$ , трения  $F_{тр}$  и крутящим моментом  $M_{кр}$  [5].

Основными параметрами УС являются масса, моменты инерции деталей и узлов, жесткость упругих элементов, демпфирование (силы неупругого сопротивления), связи между перемещениями масс по нескольким координатам.

Динамика УС характеризуется инертностью, количественной мерой которой является масса, определяемая величиной и точкой ее приложения (центром массы). Радиус инерции

$$\rho = \sqrt{J_{и} / m_{об}} = \sqrt{\sum_1^{i=n} (m_i h_i^2) / m_{об}}, \quad (7)$$

где  $J_{и}$  – момент инерции;

$m_{об}$  – общая масса приведения;

$m_i$  – масса элементарных  $i$ -х участков;

$h_i$  – расстояние до центра вращения  $i$ -го участка.

При поступательном движении физическая величина массы ( $m$ , кг или Н·с<sup>2</sup>/м)

$$m = F_p / \ddot{x}; \quad m = F_p / \frac{d\dot{x}}{dt}, \quad (8)$$

где  $F_p$  – сила резания, Н;

$\ddot{x}$  – ускорение, м/с<sup>2</sup>;

$\dot{x}$  – скорость, м/с.

Запишем момент инерции массы ( $J_{и}$ , Н·м) при вращении:

$$J = \frac{M_{кр}}{\varphi}, \quad (9)$$

где  $\varphi$  – угловое ускорение, рад/с<sup>2</sup>.

При поступательном перемещении на расстояние  $x$  жесткость оценивается коэффициентом жесткости ( $K$ , Н/м):

$$K = \frac{F_p}{x}; \quad (10)$$

При вращении под действием крутящего момента  $M_{кр}$  на угол  $\varphi$  (Н·м/рад) коэффициент жесткости

$$K = \frac{M_{кр}}{\varphi}. \quad (11)$$

Мерой демпфирования является коэффициент механического сопротивления ( $B$ , Н·с/м):

$$B = \frac{F_p}{\dot{x}} = F_p / \frac{dx}{dt} . \quad (12)$$

При вращении коэффициент механического сопротивления ( $B$ , Н·мс/рад)

$$B = \frac{M_{кр}}{\dot{\phi}} = M_{кр} \frac{d\phi}{dt} . \quad (13)$$

Анализ зависимостей (7)–(13) позволяет установить пути повышения динамического качества машины, в нашем случае деревообрабатывающего станка:

- уменьшение расстояния от центра масс до основания;
- увеличение общей массы приведения;
- снижение массы и размеров движущихся или вращающихся деталей станка, в частности режущего инструмента;
- снижение сил резания и подачи;
- повышение жесткости деталей, испытывающих максимальные нагрузки от сил резания и подачи.

В литературе [5–7, 12, 13] описаны и другие методы повышения динамического качества машины, а также снижения уровней шума и вибрации. Однако на данном этапе были проверены в основном указанные выше пути повышения динамического качества деревообрабатывающего оборудования.

Для проведения экспериментальных исследований был модернизирован вибростенд БЖ4, предназначенный для изучения вибрации механизмов и машин. Стенд был оснащен современным виброметром «Алгоритм-02», имеющим чувствительные датчики, трехосевой акселерометр и порт для подключения к компьютеру, что позволило проводить как научные исследования, так и учебно-исследовательские работы. После модернизации на нем изучали основные параметры вибрации по трем осям  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  с выводом результатов на компьютер. Объект виброизоляции представлял собой устройство, моделирующее работу какого-либо узла машины, например электродвигателя. Сменные виброзащитные модули предназначены для исследования различных устройств и деталей, снижающих вибрацию, в частности пружин и прокладок из различных материалов.

#### *Результаты исследования и их обсуждение*

Результаты воздействия вибрации на объект виброизоляции приведены в табл. 1.

По результатам измерений оценивали эффективность виброзащиты  $\mathcal{E}$  для каждой октавной полосы частот по следующей формуле:

$$\mathcal{E} = \frac{V - V_3}{V} 100 \% , \quad (14)$$

где  $V$  и  $V_3$  – среднее квадратическое значение виброускорения до и после применения виброзащиты, дБ.

Т а б л и ц а 1

Результаты измерения вибрации									
Место измерения и источники вибрации	Координата вибрации	Показатель вибрации	Уровень виброускорения, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц						
			16,0	31,5	63,0	125,0	250,0	500,0	1000,0
БЖ4-1	x	V	100,7	102,8	112,0	114,7	117,0	121,7	122,2
		V <sub>3</sub>	96,3	98,0	100,2	101,7	107,4	108,9	116,6
		Э, %	4,4	4,7	10,5	11,3	8,2	10,5	4,6
	y	V	96,3	108,7	109,9	110,4	112,7	115,6	122,3
		V <sub>3</sub>	95,8	106,1	106,9	108,1	108,3	110,6	113,3
		Э, %	0,5	2,4	2,7	2,1	3,9	4,3	7,4
	z	V	84,4	90,5	92,4	92,6	116,4	126,1	138,0
		V <sub>3</sub>	81,8	84,3	89,6	90,0	99,0	107,0	113,3
		Э, %	3,1	6,9	3,0	2,8	14,9	15,1	17,9
БЖ4-2	x	V	100,7	102,8	112	114,7	117,0	121,7	122,2
		V <sub>3</sub>	97,1	99,0	105,8	111,4	112,0	113,0	113,3
		Э, %	3,6	3,7	5,5	2,9	4,3	7,1	7,1
	y	V	96,3	108,7	109,9	110,4	112,7	115,6	122,3
		V <sub>3</sub>	95,0	106,1	106,6	107,6	108,7	113,0	113,6
		Э, %	1,3	2,4	3,0	2,5	3,5	2,2	7,1
	z	V	84,4	90,5	92,4	92,6	116,4	126,1	138,0
		V <sub>3</sub>	81,9	87,4	90,4	90,4	94,0	110,9	114,7
		Э, %	3,0	3,4	2,2	2,4	19,2	12,1	16,9
БЖ4-3	x	V	100,7	102,8	112	114,7	117	121,7	122,2
		V <sub>3</sub>	99,2	100,2	109,2	110,3	113,1	115,4	117,8
		Э, %	1,5	2,5	2,5	3,8	3,3	5,2	3,6
	y	V	96,3	108,7	109,9	110,4	112,7	115,6	122,3
		V <sub>3</sub>	95,1	107,3	108,3	109,3	109,9	112,3	116,2
		Э, %	1,2	1,3	1,5	1,0	2,5	2,9	5,0
	z	V	84,4	90,5	92,4	92,6	116,4	126,1	138,0
		V <sub>3</sub>	81,6	87,7	88,6	90,4	113,5	119,2	123,2
		Э, %	3,3	3,1	4,1	2,2	2,5	5,5	10,7
БЖ4-4	x	V	100,7	102,8	112,0	114,7	117	121,7	122,2
		V <sub>3</sub>	99,7	102,5	110,9	113,7	115,5	116,3	118,8
		Э, %	1,0	0,3	1,0	0,9	1,3	4,4	2,9
	y	V	96,3	108,7	109,9	110,4	112,7	115,6	122,3
		V <sub>3</sub>	94,4	105,7	108,1	108,3	108,8	109,7	115,4
		Э, %	2,0	2,6	1,6	1,9	3,5	5,1	5,6
	z	V	84,4	90,5	92,4	92,6	116,4	126,1	138,0
		V <sub>3</sub>	83,2	89,5	90,4	90,7	100,6	106,9	116,0
		Э, %	1,4	1,1	2,2	2,1	13,5	15,2	15,9
БЖ4-5	x	V	100,7	102,8	112	114,7	117,0	121,7	122,2
		V <sub>3</sub>	98,6	100,1	103,9	110,0	110,8	113,3	114,4
		Э, %	2,1	2,6	7,2	4,1	5,3	6,9	6,4
	y	V	96,3	108,7	109,9	110,4	112,7	115,6	122,3
		V <sub>3</sub>	94,2	104,5	107,7	107,9	108,5	110,0	116,4
		Э, %	2,2	3,9	2,0	2,3	3,7	4,8	4,8
	z	V	84,4	90,5	92,4	92,6	116,4	126,1	138,0
		V <sub>3</sub>	78,3	88,4	89,5	90,0	103,3	104,0	108,2
		Э, %	7,2	2,3	3,1	2,8	11,3	17,5	21,6

Наибольший уровень вибрации наблюдается на нижней плоскости объекта виброизоляции, непосредственно контактирующей с источником вибрации, несколько меньший – на боковых плоскостях, по направлению горизонтальных осей *X* и *Y* ортогональной системы координат. Еще меньше уровень вибрации был на верхней плоскости объекта виброизоляции по направлению оси *Z*. При установке виброзащитных модулей вибрация снижается на 5...20 %.

Результаты исследования вибрации деревообрабатывающего оборудования и ножеточильного станка Т4Н6 приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

**Уровни виброускорения от деревообрабатывающего оборудования**

Оборудование	Логарифмический уровень виброускорения, дБ	
	на рабочем столе	от электродвигателя
Рейсмусовый станок СР-4(К)	98,5	109,5
Фуговальный станок СФ-4(К)	103,6	104,8
Фрезерный станок ФШ 4	110,6	114,1
Односторонний рамный шипорезный станок ШО 16-4	77,7	86,6
Ножеточильный станок ТчН6	120,0	111,1

Как видно из табл. 2, для деревообрабатывающего оборудования уровень вибрации от электродвигателя несколько больше, чем от процесса обработки. Однако для ножеточильного станка вибрация от процесса заточки ножей больше, чем от электродвигателя.

Экспериментальные исследования по снижению вибрации проводили на универсальном деревообрабатывающем станке, обеспечивающем пиление и фугование. Рама станка была изготовлена с помощью сварки из уголков и швеллеров. Станок размещали на бетонном основании. При продольном пилении вибрация станка составляла в среднем 60...80 дБ, уровень шума – 30...50 дБ. При фуговании вибрация и шум были на 10...15 % ниже, чем при пилении.

В целях уменьшения расстояния от центра масс станка до бетонного основания и увеличения общей массы к основанию станка с помощью болтов и гаек крепили уголки и швеллеры, масса которых составляла 15...20 % массы станины. Это позволило снизить шум и вибрацию на 30...40 %. Аналогичные результаты получены при использовании бетонных блоков. Дополнительно на 5...10 % удалось снизить шум и вибрацию за счет резиновых прокладок между станиной и бетонным полом, а также между электродвигателем и плитой станка.

Анализ результатов исследования позволяет сделать важный вывод, что существенного снижения массы и металлоемкости деревообрабатывающих станков можно достичь в процессе их проектирования и изготовления.

Дополнительные возможности для снижения вибрации появляются при правильном выборе и эксплуатации режущего инструмента. Так, увеличение диаметра круглых пил, как правило, приводит к росту уровня вибрации. Увеличение износа как зубьев пил, так и ножей также повышает вибрацию [8, 9]. В связи с этим целесообразно заменять пилы и ножи уже при достижении 50 % периода их стойкости до переточки или проводить заточку инструмента непосредственно на станке. Результаты исследований [10, 11] показали, что такие меры позволяют уменьшить силы резания и вибрацию, а также существенно повысить качество обработанных изделий. Снижение радиального и торцевого биения зубьев круглых пил и правильная установка ножей также приводят к уменьшению вибрации.

Анализируя вышеизложенное, можно отметить, что при эксплуатации деревообрабатывающего оборудования имеются возможности существенно снизить шум и вибрацию в цехах деревообрабатывающих предприятий, используя как конструктивные, так и технологические методы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безопасность жизнедеятельности: учеб. / под ред. Э.А. Арустамова. 2-е изд., перераб и доп. М.: Дашков и К<sup>о</sup>, 2000. 678 с.
2. Буглаев А.М. Уменьшение вибрации и шума при работе деревообрабатывающих станков // Актуальные проблемы лесного комплекса: сб. науч. тр. Вып. 14. Брянск: БГИТА, 2006. С. 81–84.
3. ГОСТ 12.1.012–2004. Система стандартов безопасности труда. Вибрационная безопасность. Общие требования. Введ. 2008–07–01. М., 2008. 165 с.
4. ГОСТ 12.1.003–2014. Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности. Введ. 2015–11–01. М., 2015. 25 с.
5. Маковский Н.В., Амаліцкий В.В., Комаров Г.А., Кузнецов В.М. Теория и конструкции деревообрабатывающих машин: учеб. для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Лесн. пром-сть, 1990. 608 с.
6. Обливин В.Н., Никитин Л.И., Гуревич А.А. Безопасность жизнедеятельности в лесопромышленном производстве и лесном хозяйстве: учеб. М.: МГУЛ, 1999. 500 с.
7. Осмоловский Д.С., Асминин В.Ф. Экспериментальное исследование диссипативных свойств вибродемпфирующих прокладок с фрикционным трением для снижения шума от круглопильных деревообрабатывающих станков // Лесн. журн. 2011. № 5. С. 59–63. (Изв. высш. учеб. заведений).
8. Сиваков В.В. Повышение эффективности работы деревообрабатывающего оборудования в зимних условиях // Актуальные проблемы лесного комплекса: сб. науч. тр. Вып. 42. Брянск: БГИТА, 2015. С. 56–59.
9. Сиваков В.В., Буглаев А.М., Коробкова О.А. Исследования биения круглых пил // Актуальные проблемы лесного комплекса: сб. науч. тр. Вып. 36. Брянск: БГИТА, 2013. С. 100–102.
10. Сиваков В.В., Лупорева И.А. К вопросу о необходимости разработки унифицированной рубительной машины // Актуальные направления научных исследований XXI в.: теория и практика. 2014. Т. 2, № 5-4 (10-4). С. 279–283.

11. *Сиваков В.В., Лупорева И.А.* К вопросу о совершенствовании рубительных машин // Актуальные проблемы лесного комплекса: сб. науч. тр. Вып. 40. Брянск: БГИТА, 2014. С. 124–126.

12. *Фирсов Г.И.* Исследование спектральных характеристик вибрационного поля токарного прецизионного станка в режиме холостого хода // Новые материалы и технологии в машиностроении: сб. науч. тр. / под общ. ред. Е.А. Памфилова. Вып. 23. Брянск: БГИТУ, 2016. С. 56–59.

13. *Brischetto S.* Three-Dimensional Exact Free Vibration Analysis of Spherical, Cylindrical, and Flat One-Layered Panels // *Shock and Vibration*. 2014. Article 479738 Pp. 1–29.

Поступила 08.10.16

UDC 674.05

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.132

### **Study into the Feasibility of Reducing Woodworking Equipment Vibration**

*A.M. Buglaev, Doctor of Engineering Sciences, Professor*

*M.P. Bokacheva, Engineer*

*V.V. Sivakov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor*

Bryansk State Engineering Technological University, ul. Stanke Dimitrova, 3, Bryansk, 241037, Russian Federation; e-mail: ABuglaev-bgita@yandex.ru, marya.corosteleva-2010@yandex.ru, svv000@yandex.ru

Increasing the efficiency of woodworking machinery is one of the most important tasks facing domestic enterprises in a highly competitive struggle with foreign manufacturers. The work objective is the study into the feasibility of reducing woodworking equipment vibration both at the design stage and in terms of its operation. The paper presents the theoretical information on calculation of vibratory acceleration and vibration velocity, dynamic system of the machine, main directions of reducing vibration in woodworking equipment. We have carried out the experimental studies using the modernized vibration stand BZH 4, designed to investigate the vibration of machinery and machines. The effectiveness of the vibration protection for each octave bandwidth has been assessed according to the results of measurements. The highest level of vibration is observed on the lower plane of the vibration isolation object directly contacting with the source of vibration. Somewhat lower level of vibration is observed on the profile planes towards the horizontal X and Y axes of the orthogonal coordinate system. Even lower the vibration level is on the upper plane of the vibration isolation object towards the Z axis. In the presence of vibration isolation modules the vibration is reduced by 5...20 %. The analysis of the research results demonstrates the

---

*For citation:* Buglaev A.M., Bokacheva M.P., Sivakov V.V. Study into the Feasibility of Reducing Woodworking Equipment Vibration. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 3, pp. 132–142. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.132

conclusion on the possibility of considerable weight-saving and reduction in metal consumption of woodworking machines in the process of their designing and manufacturing. Additional opportunities for reducing vibration occur when the cutting tool is properly selected and operated.

*Keywords:* machine, vibration, woodworking, vibratory acceleration, reducing vibration.

#### REFERENCES

1. Arustamov E.A., ed. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti* [Health and Safety Training Course]. Moscow, 2000. 678 p.
2. Buglaev A.M. Umen'shenie vibratsii i shuma pri rabote derevoobrabatyvayushchikh stankov [Reducing Vibration and Noise in the Woodworking Machine Operation]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa* [Current Problems of the Forestry Complex], 2006, no. 14, pp. 81–84.
3. *GOST 12.1.012–2004. Sistema standartov bezopasnosti truda. Vibratsionnaya bezopasnost'. Obshchie trebovaniya* [State Standard 12.1.012–2004. Occupational Safety Standards System. Vibration Safety. General Requirements]. Moscow, 2008. 165 p.
4. *GOST 12.1.003–2014. Sistema standartov bezopasnosti truda. Shum. Obshchie trebovaniya bezopasnosti* [State Standard 12.1.003–2014. Occupational Safety Standards System. Noise. General Safety Requirements]. Moscow, 2015. 24 p.
5. Makovskiy N.V., Amalitskiy V.V., Komarov G.A., Kuznetsov V.M. *Teoriya i konstruktzii derevoobrabatyvayushchikh mashin* [Theory and Design of Woodworking Machines]. Moscow, 1990. 608 p.
6. Oblivin V.N., Nikitin L.I., Gurevich A.A. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti v lesopromyshlennom proizvodstve i lesnom khozyaystve* [Life Safety System in Timber Industry and Forestry]. Moscow, 1999. 500 p.
7. Osmolovskiy D.S., Asminin V.F. Eksperimental'noe issledovanie dissipativnykh svoystv vibrodempfiruyushchikh prokladok s friktsionnym treniem dlya snizheniya shuma ot kruglopil'nykh derevoobrabatyvayushchikh stankov [Experimental Research of Dissipative Characteristics of Vibration-Damping Bearings with Friction for Noise Reduction of Circular-Saw Woodworking Machine]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2011, no. 5, pp. 59–63.
8. Sivakov V.V. Povyshenie effektivnosti raboty derevoobrabatyvayushchego oborudovaniya v zimnikh usloviyakh [Improving the Efficiency of Operation of Woodworking Equipment in Winter Conditions]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa* [Current Problems of the Forestry Complex], 2015, no. 42, pp. 56–59.
9. Sivakov V.V., Buglaev A.M., Korobkova O.A. Issledovaniya bieniya kruglykh pil [Studies of the Circular Saw Side Error]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa* [Current Problems of the Forestry Complex], 2013, no. 36, pp. 100–102.
10. Sivakov V.V., Luporeva I.A. K voprosu o neobkhodimosti razrabotki unifikatsionnoy rubitel'noy mashiny [To the Question About the Need to Develop a Unified Chipper]. *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI v.: teoriya i praktika* [Actual Directions of Scientific Researches of the 21st Century: Theory and Practice], 2014, vol. 2, no. 5, part 4 (10-4), pp. 279–283.

11. Sivakov V.V., Luporeva I.A. K voprosu o sovershenstvovanii rubitel'nykh mashin [On Improvement Chippers]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa* [Current Problems of the Forestry Complex], 2014, no. 40, pp. 124–126.

12. Firsov G.I. Issledovanie spektral'nykh kharakteristik vibratsionnogo polya tokarnogo pretsizionnogo stanka v rezhime kholostogo khoda [Research of Spectral Characteristics of the Vibration Field of the Turning Precision Machine in the Idling Mode]. *Novye materialy i tekhnologii v mashinostroenii* [New Materials and Technologies in Mechanical Engineering]. Ed. by E.A. Pamfilov. Bryansk, 2016, no. 23, pp. 56–59.

13. Brischetto S. Three-Dimensional Exact Free Vibration Analysis of Spherical, Cylindrical, and Flat One-Layered Panels. *Shock and Vibration*, 2014, article ID 479738, pp. 1–29.

Received on October 08, 2016



УДК 674.41

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.143

## ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЕ СПОСОБОВ ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ С ЯДРОВОЙ ГНИЛЬЮ

*А.А. Лукаш, канд. техн. наук, доц.*

*Н.П. Лукутцова, д-р техн. наук, проф.*

Брянский государственный инженерно-технологический университет, просп. Станке  
Димитрова, д. 3, г. Брянск, Россия, 241037; e-mail: mr.luckasch@yandex.ru

В статье обоснована целесообразность переработки древесины, содержащей ядровую гниль. Предметом исследований являются способы переработки такой древесины. Древесина твердолиственных и хвойных пород, имеющая хорошие прочностные и теплоизоляционные показатели, пользуется высоким спросом, в результате чего сырьевые запасы этой древесины в европейской части страны постоянно сокращаются. Дефицит твердолиственных и хвойных пород требует вовлечения в переработку неделовой древесины. Существующий подход к выбору способа ее переработки определяется только видом применяемого оборудования. В лесопильном производстве ядровую гниль чаще всего удаляют выпиливанием двухкантного бруса или сердцевинных досок. В фанерном производстве чураки с диаметром гнили до 100 мм перерабатывают на лущильных станках с диаметром кулачков наружных шпинделей 110 мм. Древесину с ядровой гнилью применяют для производства плитных материалов, но суммарное содержание гнили в щепе не должно превышать 5 %. Чаще всего древесину с ядровой гнилью распиливают на дрова для реализации населению. Дифференциация подхода к выбору способа переработки древесины с ядровой гнилью заключается в обосновании вида получаемых материалов и изделий различного функционального назначения в зависимости от ее размеров. Предлагаются следующие способы переработки древесины в соответствии с градацией гнили по диаметру: до 50 мм – высверливание из лесоматериалов ядровой гнили; от 50 до 100 мм – лущение здоровой периферийной части ствола; свыше 100 мм – выпиливание из лесоматериалов обрезных пиломатериалов. Для обеспечения конкурентоспособности продукция, изготовленная из древесины с ядровой гнилью, должна обладать более высокими эксплуатационными показателями по сравнению с существующими материалами и изделиями. Лесоматериалы с ядровой гнилью диаметром до 50 мм наиболее целесообразно использовать для производства оцилиндрованных бревен, где полезный выход составляет около 80 %. Высверливание отверстия небольшого диаметра не приведет к существенному снижению несущей способности бревен. При переработке древесины с ядровой гнилью диаметром 50...100 мм предлагается применять лущение здоровой древесины для

---

*Для цитирования:* Лукаш А.А., Лукутцова Н.П. Дифференцирование способов переработки древесины с ядровой гнилью // Лесн. журн. 2017. № 3. С. 143–151. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.143

последующего склеивания фанерной продукции. Универсальным способом переработки древесины с ядровой гнилью диаметром более 100 мм (а также и менее 100 мм) является изготовление паллет для поддонов.

*Ключевые слова:* переработка древесины с ядровой гнилью, фанера, оцилиндрованные бревна, пороки древесины.

Двадцатое столетие ознаменовано бурным ростом строительного производства, приводящим к уменьшению запасов минеральных ресурсов. На фоне этого возросло значение строительных древесных материалов, созданных самой природой и постоянно возобновляемых.

Россия, являясь крупнейшей лесной державой, значительно отстает от других стран по основным экономическим и техническим показателям использования леса и производству продукции из древесины. Она крупнейший в мире экспортер необработанного сырья, однако выход готовой продукции из 1 м<sup>3</sup> заготовленной древесины в нашей стране самый низкий среди лесопромышленных стран: на 1 м<sup>2</sup> построенного жилья приходится всего 0,05 м<sup>3</sup> древесных материалов, что в 10 раз ниже, чем в промышленно развитых странах.

Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации на период до 2020 г. нацелена на развитие мощностей по глубокой механической, химической и энергетической переработке древесины [6]. При выполнении Национальной программы «Доступное и комфортное жилье – гражданам России» одним из приоритетов является полномасштабное развитие деревянного домостроения и производство необходимых для этого материалов.

Древесина обладает определенными прочностными показателями, имеет низкие теплопроводность и способность обмениваться влагой с окружающей средой, ее красивая текстура создает уют. К достоинствам древесины также относятся экологическая чистота и возобновляемость.

Хвойная древесина (сосна и ель), имеющая хорошие прочностные и теплоизоляционные показатели, пользуется высоким спросом. В результате чего сырьевые запасы этой древесины в европейской части страны постоянно сокращаются. Дефицит твердолиственных и хвойных пород требует вовлечения в переработку неделовой древесины, которая по качественным показателям не соответствует требованиям стандартов на круглые лесоматериалы.

Эксплуатационные свойства древесины лиственных пород хуже, чем у хвойных, из-за чего она используется преимущественно в производстве древесностружечных и древесноволокнистых плит. Направления применения древесины показаны на рис. 1.

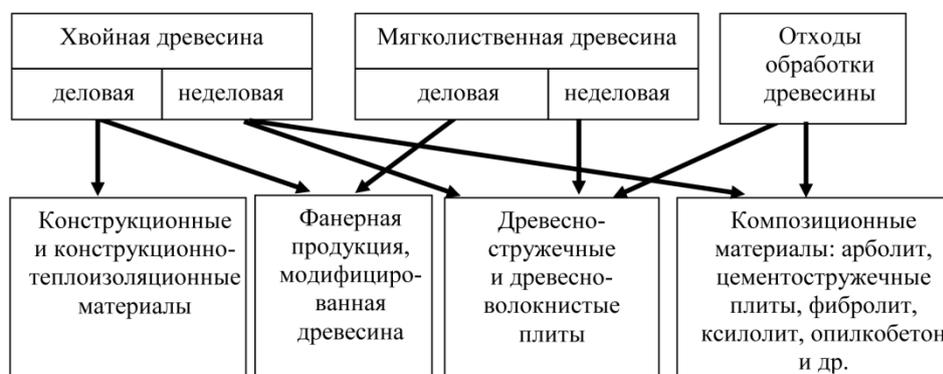


Рис. 1. Направления использования древесины

Наличие пороков, их место расположения, размеры и количество определяют пригодность использования лесоматериалов для производства продукции требуемого назначения и полезный выход. Основными сортообразующими пороками древесины являются сучки, гнили, трещины, кривизна и др. [10]. Наличие сучков, трещин и кривизны практически не влияет на показатели механических свойств полученных из них плитных и композиционных материалов.

Наиболее значимый порок древесины – ядровая гниль. Более 55 % объема заготавливаемой древесины березы поражено ядровой гнилью [9]. Гниль существенно снижает механические свойства древесины, при сильном поражении она делает древесину полностью непригодной для делового применения. В исследовании [7] выявлена повышенная плотность древесных слоев, прилегающих к ядровой гнили. Это свидетельствует о целесообразности переработки здоровой части древесины [8].

Актуальность переработки древесины с ядровой гнилью будет возрастать. Рыночные экономические условия требуют от лесопереработчиков самостоятельно решать вопросы комплексного и рационального использования древесных ресурсов для получения максимального полезного выхода продукции [2].

Наличие ядровой гнили в лесоматериалах является определяющим фактором для дальнейшего использования древесины. Чаще всего гниль располагается в нижней и средней частях ствола. Древесина этих частей характеризуется минимальным количеством сучков и наиболее пригодна для производства материалов и изделий, однако наличие ядровой гнили сдерживает использование нижней и средней частей ствола даже у деревьев большого диаметра.

Существующие способы переработки древесины с ядровой гнилью разделяются по видам производств.

В лесопильном производстве в зависимости от размеров гниль чаще удаляют выпиливанием двухкантного бруса или сердцевинных досок [1].

В фанерном производстве для лущения шпона допускаются лесоматериалы с диаметром гнили, составляющим  $1/3$  от диаметра чурака на одном торце. Для переработки древесины с ядровой гнилью диаметром более  $1/3$  диаметра ствола используют лущильные станки с внецентренным приводом. Чураки с диаметром гнили до 100 мм перерабатывают на лущильных станках, имеющих диаметр наружных шпинделей 110 мм для предотвращения прокручивания.

Для производства плитных материалов суммарное содержание гнили в щепе не должно превышать 5 %. Допускается использование отдельных лесоматериалов с диаметром гнили до 0,5 диаметра ствола. Чаще всего древесину с ядровой гнилью распиливают на дрова для реализации населению в качестве топлива.

Целесообразность переработки древесины зависит от размеров ядровой гнили. Очевидна необходимость дифференцированного подхода к переработке такой древесины. Предлагаются следующие способы переработки древесины в соответствии с диаметром ядровой гнили:

- до 50 мм – высверливание гнили из лесоматериалов;
- 50...100 мм – лущение здоровой периферийной древесины;
- более 100 мм – выпиливание из лесоматериалов здоровой древесины.

Для обеспечения конкурентоспособности продукция, изготовленная из сырья с ядровой гнилью, должна обладать более высокими эксплуатационными показателями по сравнению с существующей. Поэтому способы ее получения должны быть тесно связаны с конкретными материалами или изделиями.

Лесоматериалы с ядровой гнилью диаметром до 50 мм наиболее целесообразно использовать для производства оцилиндрованных бревен (полезный выход – около 80 %). Небольшой диаметр полученного при сверлении отверстия не приведет к существенному снижению несущей способности бревен, а наоборот будет способствовать улучшению процесса их сушки для предотвращения появления поверхностных трещин [3, 4]. Для предотвращения гниения отверстие должно быть обработано антисептиками, а в зимнее время года закрыто заглушкой.

Для переработки древесины с ядровой гнилью диаметром 50...100 мм наиболее приемлемо лущение здоровой части древесины для последующего склеивания из шпона фанерной продукции (рельефная, филленчатая и композиционная профильная фанера с улучшенным внешним видом; фанерная плита с низкой теплопроводностью и др.). При этом диаметр кулачков в лущильных станках должен превосходить диаметр гнили для предотвращения прокручивания чураков в шпинделях. Срезание качественной периферийной части чурака обеспечит наибольший полезный выход.

Из древесины с ядровой гнилью диаметром более 100 мм наиболее целесообразно производить ячеистые стеновые панели.

Вышеизложенные способы переработки древесины с ядровой гнилью диаметром до 50 мм и 50...100 мм и более предполагают использование специализированного оборудования, которое имеется не на всех предприятиях.

Универсальным способом переработки древесины с ядровой гнилью диаметром более 100 мм (а также и менее 100 мм) является изготовление паллет – брусков для поддонов длиной 900...1200 мм, шириной 90...143 мм и толщиной 20...22 мм [5]. Максимальный выход заготовок из лесоматериала будет обеспечен в том случае, если соблюдается следующее условие:

$$D = B / (0,6...0,8),$$

где  $D$  – диаметр лесоматериала, см;

$B$  – суммарная толщина выпиливаемых брусьев, см.

Схемы получения паллет из древесины, пораженной ядровой гнилью, приведены на рис. 2.

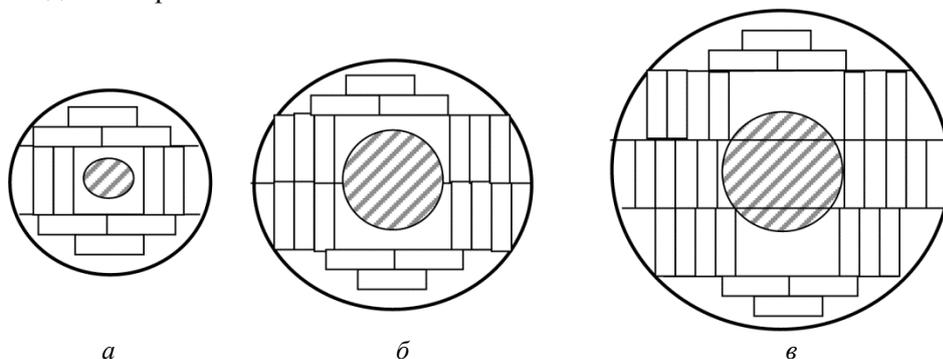


Рис. 2. Схемы получения паллет из древесины с ядровой гнилью: *а* – диаметр бревна до 24 см при диаметре гнили до 100 мм; *б* – диаметр бревна 24...32 см при диаметре гнили более 100 мм; *в* – диаметр бревна более 34 см при диаметре гнили более 100 мм

Для выполнения вышеприведенного условия в случае использования лесоматериалов диаметром до 24 см с диаметром ядровой гнили менее 100 мм рекомендуется схема раскроя, показанная на рис. 2, *а*, для лесоматериалов диаметром 24...32 см с диаметром ядровой гнили более 100 мм – схема раскроя с выпиливанием 2 двухкантных брусьев толщиной 100 мм (рис. 2, *б*), для лесоматериалов диаметром более 34 см с диаметром ядровой гнили более 100 мм – схема раскроя с выпиливанием трех брусьев толщиной 100 мм (рис. 2, *в*).

Для переработки лесоматериалов с ядровой гнилью разработано устройство, которое содержит два обрезных станка для последовательной обрезки каждой кромки, механизм подачи и вертикальные направляющие для перемещения пиломатериалов параллельно обрезаемым кромкам. Обрезные станки выполнены двухпильными с возможностью регулирования расстояния

между пилами и вертикальными направляющими (рис. 3). Двухпильные станки последовательно выпиливают здоровую часть древесины дисковыми пилами с каждого края.

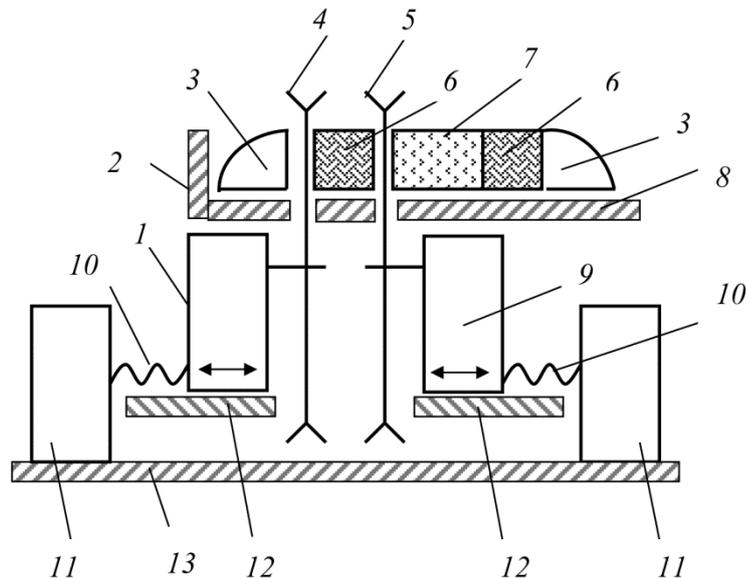


Рис. 3. Схема переработки древесины с ядровой гнилью на обрезном станке: 1, 9 – электродвигатели; 2 – боковые направляющие; 3 – обзоленные кромки обрезаемого пиломатериала; 4, 5 – дисковые пилы для выпиливания обзоленной кромки и здоровой древесины; 6 – полосы здоровой древесины; 7 – ядровая гниль; 8 – горизонтальные направляющие; 10 – винтовая подача; 11 – устройства для смещения электродвигателей; 12 – направляющие; 13 – станина

Каждый из станков содержит электродвигатель 1 с дисковой пилой 4 для обрезки обзоленной кромки и электродвигатель 9 с дисковой пилой 5 для выпиливания здоровой древесины. Электродвигатели установлены на направляющих 12, которые обеспечивают возможность их перемещения в горизонтальной плоскости с помощью устройств 11, установленных на станине, и винтовой подачи. Перемещение обрезаемых пиломатериалов производится по горизонтальным направляющим 8. Вдоль боковых вертикальных направляющих 2 осуществляется перемещение обрезаемого пиломатериала, который содержит обзоленные кромки, полосы здоровой древесины и ядровую гниль.

Второй обрезной двухпильный станок аналогичен по конструкции первому станку и является его зеркальным отображением (боковые вертикальные направляющие 2 установлены с противоположной стороны от горизонтальных направляющих 8).

Перед обработкой в зависимости от размеров обзолной кромки, ширины полосы здоровой древесины и ядровой гнили пилы 4, 5 устанавливаются таким образом, чтобы полученная при обработке полоса здоровой древесины имела максимальную ширину. После настройки на требуемую ширину включают механизм и производят обрезку пилами 4, 5 обзолной кромки и выпиливание полосы здоровой древесины. Оставшуюся часть древесины передают на второй станок, где обработка древесины производится аналогично.

Таким образом, разработанное устройство обеспечивает возможность получения обрезных пиломатериалов из необрезных, содержащих ядровую гниль, с максимальным объемным выходом.

Устройство является универсальным, так как с его помощью можно также обрабатывать необрезные пиломатериалы и без ядровой гнили. В этом случае дисковые пилы для выпиливания здоровой древесины обоих станков смещаются в крайнее положение, а обработка пиломатериалов производится только пилами для выпиливания кромок.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Копейкин А.М., Дерягин Р.В.* Технология лесопильно-деревообрабатывающих производств: учеб. пособие. Вологда: Волог. ГТУ, 2013. 95 с.
2. *Копейкин А.М., Мелехов В.И.* Проблемы развития российского лесопиления в новых экономических условиях // *Деревообработ. пром-сть*. 2008. № 1. С. 2–3.
3. *Лукаш А.А., Гришина Е.С.* Дома из оцилиндрованных бревен: перспективы производства, недостатки и пути их устранения // *Строит. материалы*. 2013. № 4. С. 109–110.
4. *Лукаш А.А., Гришина Е.С.* Интенсификация процесса сушки оцилиндрованных бревен // *Лесн. журн.* 2014. № 2. С. 86–93. (Изв. высш. учеб. заведений).
5. *Рудницкий В.Н., Лукаш А.А., Семенов А.Н.* Совершенствование технологического процесса изготовления паллет на ООО «Климоволеспром» // *Актуальные проблемы лесного комплекса: сб. науч. тр. по итогам 8-й Междунар. науч.-техн. конф. «Лес-2008»*. Брянск: БГИТА, 2008. № 21. С. 273–276.
6. Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации на период до 2020 г. [Электронный ресурс]: утв. приказом Минпромторга и Минсельхоза России от 31 окт. 2008 г. № 248/482. Доступ из справ.-правовой системы «Консультант Плюс».
7. *Торопов А.С., Торопов С.А., Микрюкова Е.В.* Исследование пораженности древесины напеленной гнилью // *Лесн. журн.* 2009. № 4. С. 95–100. (Изв. высш. учеб. заведений).
8. *Торопов А.С., Шаранов Е.С.* Исследование технологии получения однородных заготовок из березы, пораженной сердцевинной гнилью // *Актуальные проблемы лесного комплекса: сб. науч. тр. по итогам междунар. науч.-техн. конф.* Брянск: БГИТА, 2006. № 14. С. 164–167.
9. *Торопов А.С., Шаранов Е.С.* Новые технологии раскроя древесины, пораженной сердцевинной гнилью // *Вестн. МГУЛ – Лесн. вестн.* 2008. № 6. С. 59–62.
10. *Уголев Б.Н.* Древесиноведение и лесное товароведение: учеб. для вузов. 5-е изд., перераб. и доп. М.: МГУЛ, 2007. 351 с.

Поступила 08.09.16

UDC 674.41

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.143

### **Differentiation of Processing Methods of Pumped Wood**

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

*N.P. Lukutsova, Doctor of Engineering Sciences, Professor*

Bryansk State Engineering Technological University, pr. Stanke Dimitrova, 3, Bryansk, 241037, Russian Federation; e-mail: mr.luckasch@yandex.ru

The feasibility of wood processing containing heart rot is substantiated in the article. The subject of research is the processing methods of wood with heart rot. Hardwood and coniferous wood with good strength and heat insulating parameters, is in high demand. As a result, the raw stock of this wood in the European part of the country is constantly decreasing. Deficiency of hardwood and coniferous wood requires the involvement of non-merchantable wood into processing. The existing approach to choosing the method of its processing is determined only by the type of the used equipment. In the sawmill production, the heart rot is often removed by sawing of double flat-faced cants or heart boards. In the plywood production, billets with a rot diameter of up to 100 mm are processed on peelers with a cam diameter of outer spindles of 110 mm. Wood with heart rot is used for the production of plate materials, but the total content of decay in wood chips should not exceed 5 %. Often wood with heart rot is sawed for firewood for sale to the population. The approach differentiation for choosing the processing method of wood with heart rot is to justify the type of obtained materials and products of various functional purposes, depending on its size. The following methods of wood processing are proposed in accordance with the rot gradation by diameter: up to 50 mm – drilling of heart rot from timber; from 50 to 100 mm – peeling of a healthy peripheral part of the trunk; over 100 mm – sawing of cut lumber from timber. To ensure the competitiveness the products made from wood with heart rot, should have higher performance criteria compared to existing materials and products. Wood materials with heart rot of a diameter of up to 50 mm are most advisable to use for the production of rounded logs, where the useful yield is about 80 %. Drilling a small diameter hole will not result in a significant reduction in the carrying capacity of logs. When processing wood with heart rot of a diameter of 50...100 mm, we propose to use sound wood peeling for the subsequent jointing of plywood products. A universal way of wood processing with heart rot of a diameter of 100 mm and more (and also less than 100 mm) is the production of pallets for platforms.

*Keywords:* added-value pumped wood processing, plywood, rounded log, flaw in wood.

### REFERENCES

1. Kopeykin A.M., Deryagin R.V. *Tekhnologiya lesopil'no-derevoobrabatyvayushchikh proizvodstv: ucheb. posobie* [Technology of Sawmilling and Woodworking Industries]. Vologda, 2013. 95 p.

---

*For citation:* Lukash A.A., Lukutsova N.P. Differentiation of Processing Methods of Pumped Wood. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 3, pp. 143–151. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.143

2. Kopeykin A.M., Melekhov V.I. Problemy razvitiya rossiyskogo lesopileniya v novykh ekonomicheskikh usloviyakh [Problems of the Russian Sawmilling Development Under New Economic Conditions]. *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'* [Woodworking Industry], 2008, no. 1, pp. 2–3.

3. Lukash A.A., Grishina E.S. Doma iz otsilindrovannykh breven: perspektivy proizvodstva, nedostatki i puti ikh ustraneniya [Houses Made of Rounded Logs: Prospects of Manufacture, Shortcomings and Ways of Their Elimination]. *Stroitel'nye materialy*, 2013, no. 4, pp. 109–110.

4. Lukash A.A., Grishina E.S. Intensifikatsiya protsessa sushki otsilindrovannykh breven [Intensification of Round Log Drying]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2014, no. 2, pp. 86–93.

5. Rudnitskiy V.N., Lukash A.A., Semenov A.N. Sovershenstvovanie tekhnologicheskogo protsessa izgotovleniya pallet na OOO «Klimovolesprom» [Improvement of the Technological Process of Pallets Manufacturing at Klimovolesprom Ltd.]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa: sbornik nauchnykh trudov po itogam 8-y Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Les-2008»* [Actual Problems of the Forest Complex: Proc. on the Results of the 8th Int. Sci. Tech. Conf. “Les–2008”]. Bryansk, 2008, no. 21, pp. 273–276.

6. *Strategiya razvitiya lesnogo kompleksa Rossiyskoy Federatsii na period do 2020 g.:* utv. prikazom Minpromtorga i Minsel'khoza Rossii ot 31 okt. 2008 g. № 248/482 [Strategy for the Development of the Forestry Complex of the Russian Federation for the Period until 2020: Approved by the Order of the Ministry of Industry and Trade and the Ministry of Agriculture of Russia of October 31, 2008, No. 248/482]. Available at: [www.consultant.ru / document/cons\\_doc\\_LAW\\_99108](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_99108).

7. Toropov A.S., Toropov S.A., Mikryukova E.V. Issledovanie porazhennosti drevesiny napennoy gnil'yu [Investigation of Wood Affected by Stump Rot]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2009, no. 4, pp. 95–100.

8. Toropov A.S., Sharapov E.S. Issledovanie tekhnologii polucheniya odnorodnykh zagotovok iz berezy, porazhennoy serdtsevinnoy gnil'yu [Technology Investigation of Homogeneous Blanks Obtaining from Birch, Affected by Heart Rot]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa: sbornik nauchnykh trudov po itogam Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Actual Problems of the Forest Complex: Proc. on the Results of the Int. Sci. Tech. Conf.]. Bryansk, 2006, no. 14, pp. 164–167.

9. Toropov A.S., Sharapov E.S. Novye tekhnologii raskroya drevesiny, porazhennoy serdtsevinnoy gnil'yu [New Technologies of Dividing Wood Struck by Central Rot]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik* [Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoy Vestnik], 2008, no. 6, pp. 59–62.

10. Ugolev B.N. *Drevesinovedenie i lesnoe tovarovedenie: ucheb. dlya vuzov* [Wood Science with the Basics of Forest Commodity Science]. Moscow, 2007. 351 p.

Received on September 08, 2016



УДК 621.3.029.6:674.8  
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.152

## ОБОСНОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОМПОНЕНТОВ ДРЕВЕСИНЫ С ВЛАГОЙ

*В.И. Врублевская, д-р техн. наук, проф.*

*В.О. Матусевич, канд. техн. наук*

*В.В. Кузнецова, ассист.*

Белорусский государственный университет транспорта, ул. Кирова, д. 34, г. Гомель, Республика Беларусь, 246653; e-mail: vmatusevich@yandex.ru

Физико-механические свойства древесины зависят от количества влаги, находящейся в клеточных стенках и связанной с ее компонентами. Однако до сих пор нет четкого представления о местонахождении связанной влаги в древесинном веществе клеточных стенок. Цель исследования состояла в том, чтобы теоретически обосновать сорбционную способность компонентов древесины и смоделировать данный процесс на наноуровне с учетом размеров молекул и атомов. Для моделирования был взят основной и наиболее изученный компонент древесины – целлюлоза. Разработанная нами пространственная сферическая модель макромолекулы целлюлозы и расположение ее звеньев в элементарной ячейке позволили объяснить механизм поглощения влаги клеточной стенкой древесины на молекулярном уровне. Гидроксильные группы макромолекул целлюлозы и молекул воды имеют одну природу, так как электроотрицательность составляющих их атомов совпадает по значению, что позволяет им легко образовывать межмолекулярные водородные связи в одном слое и между соседними слоями в кристалле. Водородная связь по своему характеру является электростатической. Энергия ее примерно в 10 раз меньше энергии межатомных ковалентных связей. Электроотрицательности ОН-групп молекул целлюлозы и воды совпадают по значимости, поэтому при определенных энергетических условиях окружающей среды молекула воды, разрывая межмолекулярную водородную связь молекулы целлюлозы, тут же замыкает ее на себя. Точно также молекула воды покидает водородную связь, если она обладает достаточной кинетической энергией, чтобы сдвинуться с места. Проникновение молекул воды в кристалл целлюлозы происходит путем перемещения их из одной водородной связи в другую. Молекулы воды удерживаются в этих связях только за счет своей электроотрицательности. Таким образом, механизм взаимодействия микрокристаллита целлюлозы с влагой определяется тем, что молекулы воды удерживаются в водородных связях гидроксильных групп глюкопиранозных звеньев макромолекулы целлюлозы и имеют возможность перемещаться между ними. При внедрении молекулы воды в водородную связь расстояние между ОН-группами целлюлозы увеличивается на ее размер, и при влагопоглощении разбухание кристаллической структуры целлюлозы составляет около 12 %. Молекулы воды образуют водородные связи с лигнином и гемицеллюлозой так же, как с целлюлозой. Расчет, произ-

---

*Для цитирования:* Врублевская В.И., Матусевич В.О., Кузнецова В.В. Обоснование механизма взаимодействия компонентов древесины с влагой // Лесн. журн. 2017. № 3. С. 152–163. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.152

веденный через молекулярные массы элементарных звеньев макромолекул, показывает, что максимальное количественное содержание физически связанной влаги в древесине составляет около 30 %, что соответствует многочисленным экспериментальным данным других исследователей.

*Ключевые слова:* древесина, целлюлоза, лигнин, абсорбция, связанная влага, водородная связь, микрокристаллит, электроотрицательность.

### *Введение*

Строение древесины и ее компонентов, причины разбухания и усушки древесины изучались многими учеными. Но все предположения о нахождении влаги (в клеточных стенках) основаны на гипотезах. Например, А.М. Боровиков и Б.Н. Уголев утверждают: «Разбухание древесины вызвано тем, что связанная вода, размещаясь в клеточных стенках, раздвигает микрофибриллы» [1, с. 134]; Б.Н. Уголев – «Усушку вызывает удаление адсорбционной воды, находящейся внутри клеточной стенки между фибриллами» [12, с. 60]; Б.С. Чудинов: «...связанная влага в древесине находится в пленочном состоянии» [14, с. 4]; П.С. Серговский: «Адсорбционная влага поглощается поверхностью элементарных фибрилл и микрофибрилл и образует между ними непрерывные прослойки...» [11, с. 28].

Связанная влага в древесине находится в метастабильном состоянии с влажностью окружающей среды – воздуха, который заполняет все ее микрополости.

Цель работы – теоретическое обоснование сорбционной способности компонентов древесины и моделирование данного процесса на наноуровне с учетом размеров молекул и атомов.

Для моделирования был взят основной и наиболее изученный компонент древесины – целлюлоза ( $C_6H_{10}O_5$ )<sub>n</sub>, степень полимеризации которой составляет в среднем от 50...200 до 5 000...10 000. Для всей целлюлозы, содержащейся в клеточных стенках, характерна высокая степень ориентации параллельных друг другу молекул. Зоны с параллельным расположением молекул называют мицеллами, или кристаллитами [10].

Молекулы целлюлозы полярны, что обусловлено разностью электроотрицательностей составляющих их атомов и позволяет им образовывать водородные связи [3, 9].

При построении модели использованы следующие значения размеров атомов и молекул, составляющих структурные единицы моделируемых объектов, нм: водород (H) – 0,066; кислород (O) – 0,132; вода (H<sub>2</sub>O) – 0,200; углерод (C) – 0,154 [2, 17, 18].

### *Результаты моделирования*

Разработанная нами пространственная сферическая модель макромолекулы целлюлозы [11, 12] и расположение ее звеньев в элементарной ячейке соответствуют увеличенной атомной микроскопической топографии кристаллических плоскостей целлюлозы, полученной авторами [15, 16]. Модель позволяет объяснить механизм поглощения влаги клеточной стенкой древесины на молекулярном уровне.

Водородная связь образуется между молекулами с активными атомами водорода и молекулами, содержащими электроотрицательные атомы, которые имеют неподеленную электронную пару. Активными называются атомы водорода, связанные с другими атомами сильно полярной ковалентной связью, например Н–О; Н–S; Н–N и т.д. Эти атомы водорода обнаруживают остаточное сродство к электрону, за счет которого они образуют дополнительную связь с атомом.

Связанная влага находится в клеточной стенке в межмолекулярных связях с компонентами древесины. Представленная пространственная сферическая модель макромолекулы целлюлозы, разработанная нами [11, 12], и расположение ее звеньев в кристалле (рис. 1) позволяют проанализировать его

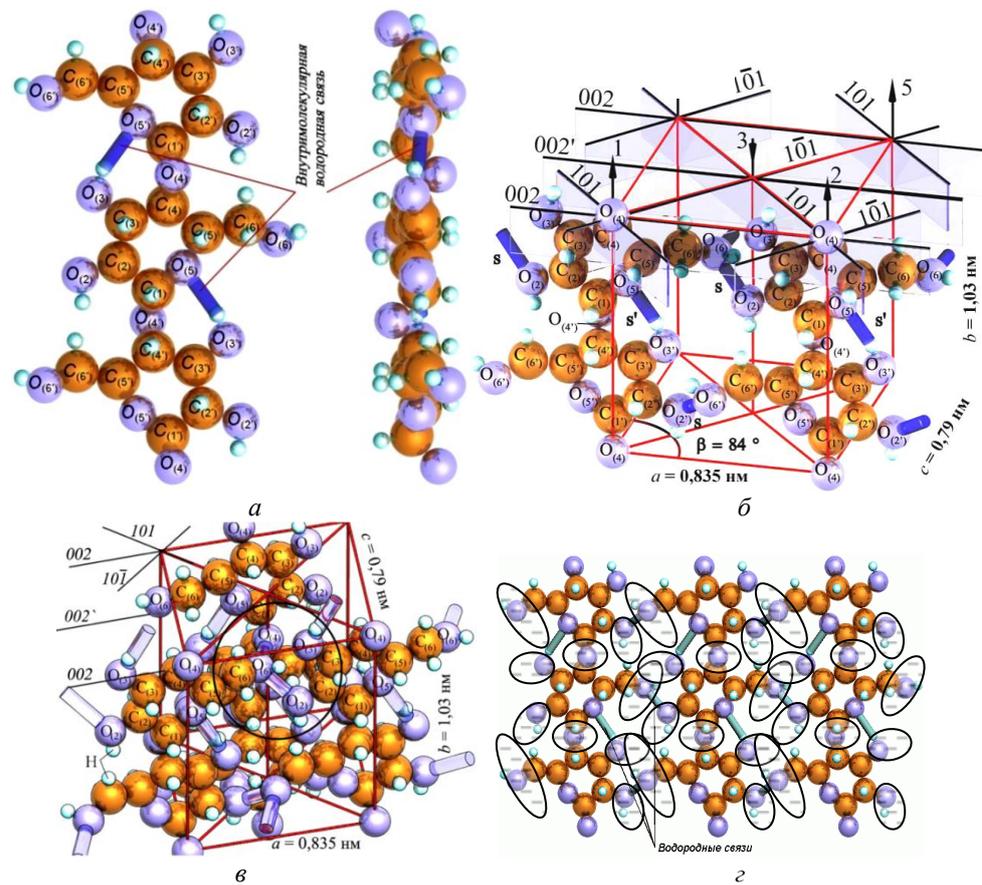


Рис. 1. Сферическая модель макромолекулы целлюлозы (а), плоскости кристаллической решетки элементарной ячейки (б), расположение звеньев решетки в кристалле (в) и области, образуемые атомами с разными значениями электроотрицательностей, действующих в молекулах целлюлозы (з)

структурные изменения при абсорбции молекул воды и объяснить механизм поглощения влаги клеточной стенкой древесины.

Имеющиеся в кристаллической целлюлозе свободные межмолекулярные пространства достаточны, чтобы молекулы воды могли проникать из одного слоя в следующий слой. Однако этого не происходит по причине полярности молекул целлюлозы.

Атомы в макромолекуле целлюлозы электронейтральны. Однако атом кислорода имеет две неподеленные электронные пары, которые своей несимметричностью обеспечивают ему высокую электроотрицательность. Кислород, смещая электронную плотность атома водорода, компенсирует свою электроотрицательность только частично с образованием отрицательного заряда, при этом атом водорода в связи Н–О имеет положительный центр заряда. Образуется сетка, которая является барьером для молекул воды (рис. 1, *з*).

Следовательно, несвязанные молекулы воды в микрокристалле целлюлозы отсутствуют вследствие действия в нем сил, образуемых за счет различий электроотрицательностей, создаваемых атомами кислорода.

С помощью мультиплицирования макромолекулы целлюлозы построена пространственная модель микрокристалла целлюлозы (рис. 2), на которой отчетливо видно его слоистое строение, аналогичное предложенному в работах [15, 16].

Гидроксильные группы макромолекул целлюлозы и молекул воды имеют одну природу, что позволяет им легко об-

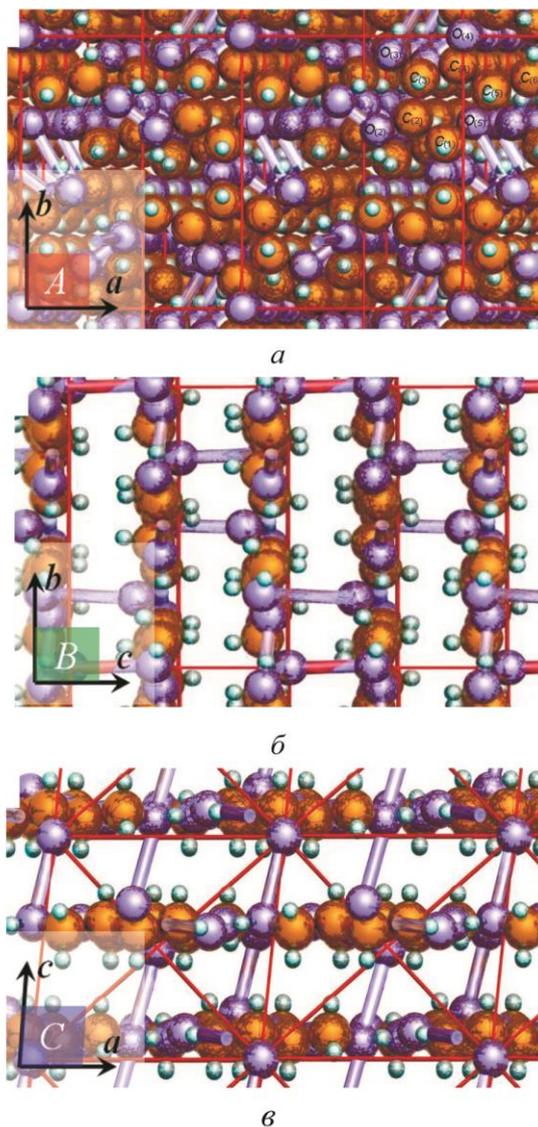


Рис. 2. Слоистое строение микрокристалла целлюлозы: *a* – вид в плоскости *ab* (фронтальный); *б* – вид в плоскости *bc* (сбоку); *в* – вид в плоскости *ac* (сверху)

разовывать межмолекулярные водородные связи в одном слое (002) и между соседними слоями (002–002') (см. рис. 1, *в*). Образование в ячейке целлюлозы водородных связей с молекулой воды показано на рис. 3 [5].

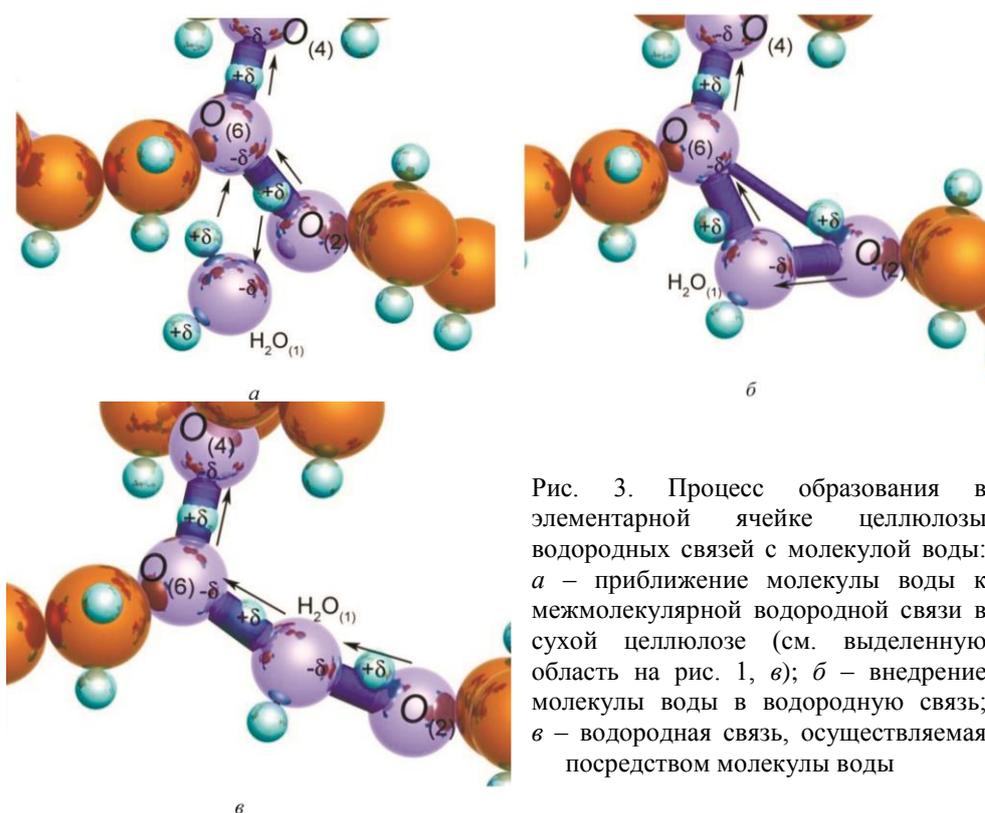


Рис. 3. Процесс образования в элементарной ячейке целлюлозы водородных связей с молекулой воды: *а* – приближение молекулы воды к межмолекулярной водородной связи в сухой целлюлозе (см. выделенную область на рис. 1, *в*); *б* – внедрение молекулы воды в водородную связь; *в* – водородная связь, осуществляемая посредством молекулы воды

Водородная связь (обозначена на рис. 3 стрелками) по своему характеру является электростатической. Энергия ее составляет 4...33 кДж/моль, что примерно в 10 раз меньше межатомных (ковалентных) связей (табл. 1) [3]. Тем не менее, она в значительной степени определяет как физические, так и химические свойства соединений.

Т а б л и ц а 1

Энергия межатомных (ковалентных) связей				
Вид связи	C–C	C–O	H–C	H–O
Энергия, кДж/моль	348	344	415	466

Электроотрицательности OH-групп молекул целлюлозы и воды совпадают по значимости, поэтому молекула воды, разрывая межмолекулярную водородную связь, внедряется в нее и тут же замыкает на себя (рис. 3).

Однако Н-взаимодействие является электростатическим, и магнитные свойства атома распространяются не в одном направлении, а в пространстве. Следовательно, атом кислорода молекулы воды, приближающейся к водородной связи  $O_{(2)}H...O_{(6)}$  (рис. 3, *a*), будет оказывать на атом водорода этой группы точно такое же воздействие, как на атом  $O_{(6)}$  (рис. 3, *б*). При этом прямая водородная связь  $O_{(2)}H...O_{(6)}$  перестанет существовать, но будет осуществляться посредством молекулы воды  $O_{(2)}H...OH_2...O_{(6)}$  (рис. 3, *в*). Этот процесс назван нами «внедрением», поскольку как такового разрыва водородной связи не происходит.

Точно также молекула воды покидает водородную связь  $O_{(2)}H...OH_2...O_{(6)}$ , если она обладает достаточной кинетической энергией, чтобы сдвинуться с места, и Н-связь  $O_{(2)}H...O_{(6)}$  восстанавливается (рис. 4).

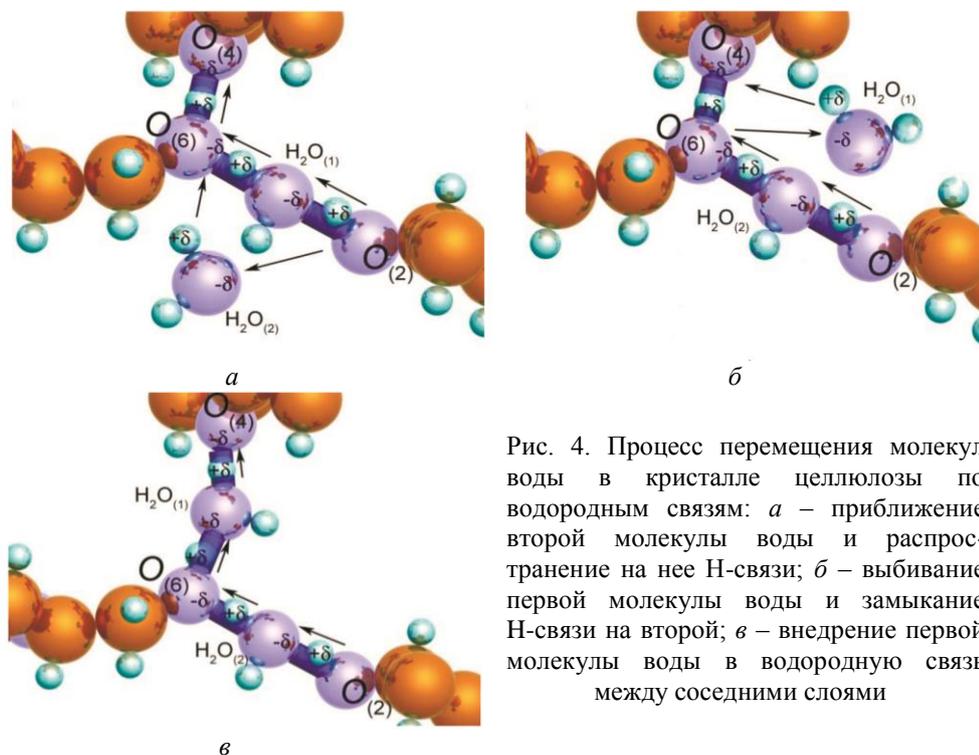


Рис. 4. Процесс перемещения молекул воды в кристалле целлюлозы по водородным связям: *a* – приближение второй молекулы воды и распространение на нее Н-связи; *б* – выбивание первой молекулы воды и замыкание Н-связи на второй; *в* – внедрение первой молекулы воды в водородную связь между соседними слоями

Если к первой молекуле воды  $H_2O_{(1)}$ , находящейся в Н-связи (рис. 4, *a*), приближается вторая молекула воды  $H_2O_{(2)}$ , обладающая определенной скоростью и, соответственно, кинетической энергией, то в зоне их взаимодействия наблюдаются следующие явления:

распространение Н-связи как на  $H_2O_{(1)}$ , так и на  $H_2O_{(2)}$  (рис. 4, *a*);

передача кинетической энергии при соударении от  $H_2O_{(2)}$  к  $H_2O_{(1)}$ , которая выходит из Н-связи  $O_{(2)}H...O_{(6)}$  и движется к связи  $O_{(6)}H...O_{(4)}$  (рис. 4, *б*);

внедрение  $H_2O_{(1)}$  в водородную связь  $O_{(6)}H \dots O_{(4)}$  между соседними слоями (рис. 4, в).

Таким образом, проникновение молекул воды в кристалл целлюлозы происходит путем перемещения их из одной водородной связи в другую. Молекулы воды удерживаются в этих связях только за счет своей электроотрицательности.

Механизм взаимодействия микрокристаллита целлюлозы с влагой определяется тем, что молекулы воды удерживаются в его водородных связях гидроксильных групп глюкопиранозных звеньев и имеют возможность перемещаться между ними с одного слоя в соседний [5].

При внедрении молекулы воды в водородную связь (рис. 4, в) расстояние между OH-группами  $O_{(2)}H \rightarrow O_{(6)}H$  и  $O_{(6)}H \rightarrow O_{(4)}$  увеличивается на размер (диаметр) молекулы воды:  $d_{H_2O} = 0,2$  нм. При этом разбухание кристаллической структуры целлюлозы составляет около 12 % (рис. 5) [5].

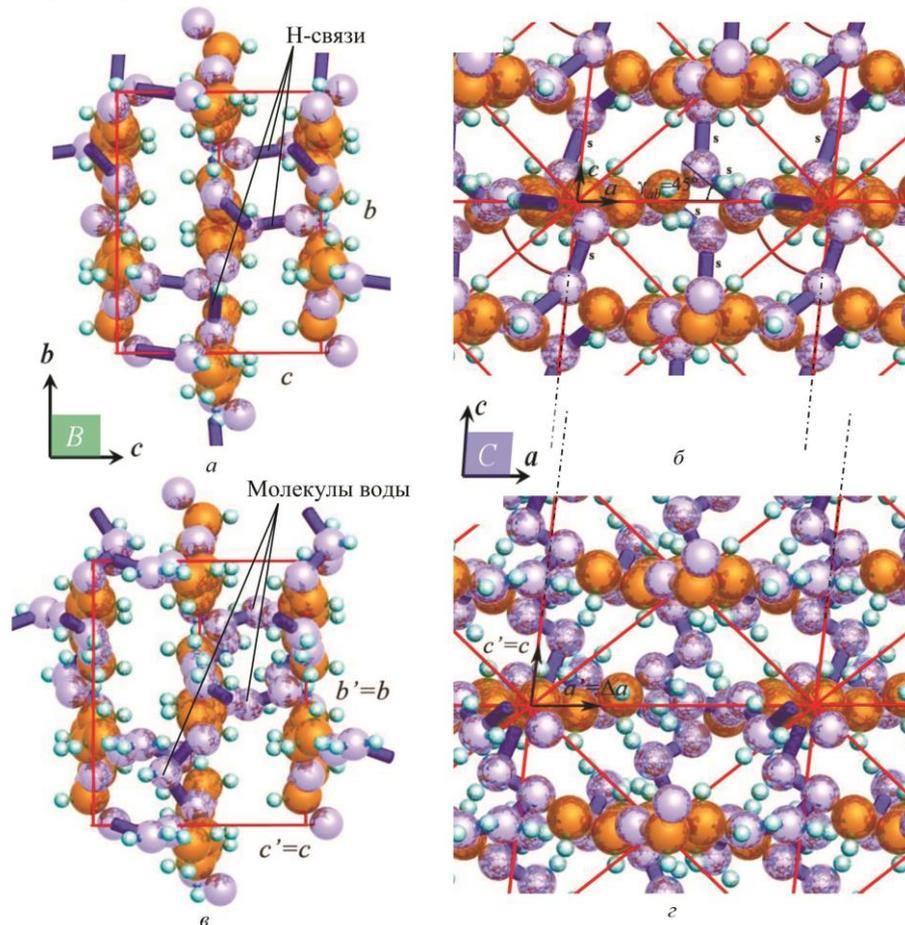


Рис. 5. Межмолекулярные водородные связи в сухой целлюлозе (а, б) и при абсорбции молекул воды (в, з)

Нами принято допущение, что молекулы воды образуют водородные связи с лигнином и гемицеллюлозами так же, как с целлюлозой. Соответственно, максимальное количественное содержание физически связанной влаги в древесине определяется ее химическим составом.

Расчет предела поглощения влаги произведен через молекулярные массы  $M_r$  элементарных звеньев макромолекул (целлюлозы, гемицеллюлозы и лигнина). Так как каждое элементарное звено природного полимера может присоединять конечное число молекул воды, то количество всей связанной воды в компонентах древесного вещества будет пропорционально суммарному количеству молекул воды, присоединенных одной единицей каждого компонента [6, 13].

Молекулярная масса глюкопиранозного звена макромолекулы целлюлозы  $M_r$  ( $C_6H_{10}O_5$ ) = 162,135, молекулярная масса воды  $M_r$  ( $H_2O$ ) = 18,015. Глюкопиранозное звено макромолекулы целлюлозы может образовать 3 водородные связи с помощью гидроксильных групп  $O_{(2)}H$ ,  $O_{(3)}H$  и  $O_{(6)}H$ , а следовательно, может присоединить 3 молекулы  $H_2O$ . Таким образом, доля присоединенной воды к массе глюкопиранозного звена составит 0,333 (33,3 %).

Однако химический состав древесины различных пород, произрастающих в различных условиях, сильно отличается (табл. 2, 3) [7].

Т а б л и ц а 2

## Максимальное содержание физически связанной влаги

Порода древесины	Химический состав древесины, %					Количество поглощенной компонентом влаги, %				Всего поглощенной влаги, %
	Зола и экстрактивные вещества	Целлюлоза	Лигнин	Пентозаны	Гексозаны	Целлюлоза	Лигнин	Пентозаны	Гексозаны	
Береза пушистая ( <i>Betula pubescens</i> )	1,65	45,80	21,20	22,00	4,00	15,27	4,51	9,00	1,33	30,11
Береза бородавчатая ( <i>Betula verrucosa</i> )	6,28	31,00	19,50	28,30	4,90	10,33	4,15	11,58	1,63	27,70
Осина ( <i>Populus tremula</i> )	4,36	47,20	21,30	22,80	0,00	15,73	4,54	9,33	0,00	29,60
Сосна ( <i>Pinus silvestris</i> )	6,90	51,90	28,20	11,20	8,60	17,30	6,01	4,58	2,87	30,75
Ель обыкновенная ( <i>Picea excelsa</i> )	3,10	52,40	28,10	10,00	13,50	17,47	5,98	4,09	4,50	32,04

Примечание. Экстрактивные вещества гидрофобны.

Т а б л и ц а 3

## Основные характеристики компонентов древесины

Показатель	Целлюлоза	Лигнин	Пентозаны	Гексозаны
Молекулярная масса $M_r$	162,135	169,191	132,110	162,135
Количество водородных связей мономерной структурной единицы	3	2	33	3
Массовая доля воды в компоненте, %	33,33	21,30	40,91	33,33

В древесине березы, произрастающей в Республике Беларусь, содержание целлюлозы около 41 %, т. е. ее целлюлоза может связать только  $0,333 \cdot 41 \% = 13,7 \%$  воды.

Аналогично ведется расчет для гемицеллюлоз и лигнина. При этом фенолпропановая структурная единица лигнина  $[C_9H_{13}O_3]_n$  может связать 2 молекулы воды [4, 10]. Гемицеллюлоза представляет собой смесь полисахаридов (гексозанов  $[C_6H_{10}O_5]_n$  и пентозанов  $[C_5H_8O_4]_n$ ), элементарные звенья которых содержат 2 или 3 свободные ОН-группы [10].

Полученный теоретический результат влагопоглощения для различных пород древесины, химический состав которых приведен в табл. 2, соответствует многочисленным экспериментальным данным [8, 12, 14].

Вышесказанное свидетельствует о том, что только связанная вода (молекулы воды, внедрившиеся в водородные связи компонентов древесины) вызывает ее разбухание и обуславливает изменение ее физико-механических свойств.

#### Выводы

1. Механизм взаимодействия целлюлозы, лигнина и гемицеллюлоз с влагой определяется тем, что молекулы воды удерживаются за счет межмолекулярных водородных связей и имеют возможность перемещаться между ними в поперечном направлении в зависимости от энергетического состояния окружающей среды, что обуславливает метастабильное состояние древесины.

2. При внедрении молекулы воды в водородную связь расстояние между макромолекулами увеличивается, что приводит к разбуханию кристаллической структуры целлюлозы на 12 %.

3. Максимальное количественное содержание физически связанной влаги в древесине составляет около 30 % и определяется химическим составом древесного вещества при образовании предельного числа водородных связей компонентов древесины с молекулами воды.

4. Полученные результаты свидетельствуют о том, что только связанная вода (молекулы воды, внедрившиеся в водородные связи компонентов древесины) вызывает разбухание древесины и способствует изменению ее физико-механических свойств.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боровиков А.М., Уголев Б.Н. Справочник по древесине. М.: Лесн. пром-сть, 1989. 296 с.
2. Зоммер К., Вюни К.Х., Цеттлер М. Химия: справ. / под общ. ред. Р.А. Лидина. 3-е изд. М.: Дрофа, 2003. 384 с.
3. Левитина Т.П. Справочник по органической химии: учеб. пособие. СПб.: Паритет, 2002. 448 с.
4. Лигнины (структура, свойства и реакции) / под ред. К.В. Сарканена, К.Х. Людвига; пер. с англ.: А.В. Оболенской, Г.С. Чиркина, В.П. Щеголева под ред. В.М. Никитина. М.: Лесн. пром-сть, 1975. 629 с.

5. Матусевич В.О. Структурные изменения клеточных стенок древесины и их роль в интенсификации СВЧ-сушки древесных вкладышей подшипников скольжения: дис. ... канд. техн. наук. Гомель, 2011. 130 с.

6. Невзорова А.Б., Врублевский В.Б., Матусевич В.О., Врублевская В.И. Подшипники скольжения самосмазывающиеся на основе модифицированной древесины (теория, технология и практика): моногр. Гомель: БелГУТ, 2011. 254 с.

7. Никитин В.М., Оболенская А.В., Щеголев В.П. Химия древесины и целлюлозы. М.: Лесн. пром-сть, 1978. 368 с.

8. Перелыгин Л.М., Уголев Б.Н. Древесиноведение: учеб. для лесотехн. техникумов. М.: Лесн. пром-сть, 1971. 286 с.

9. Рабинович В.А., Хавин З.Я. Краткий химический справочник. Л.: Химия, 1977. 376 с.

10. Роговин З.А., Шорыгина Н.Н. Химия целлюлозы и ее спутников. М.; Л.: Госхимиздат, 1953. 679 с.

11. Серговский П.С., Рассев А.И. Гидротермическая обработка и консервирование древесины: учеб для вузов. 4-е изд., испр. и доп. М.: Лесн. пром-сть, 1987. 360 с.

12. Уголев Б.Н. Древесиноведение и лесное товароведение: учеб. Изд. 2-е, стер. М.: Академия, 2006. 270 с.

13. Химия древесины / под ред. Б.Л. Браунинга. М.: Лесн. пром-сть, 1967. 415 с.

14. Чудинов Б.С. Вода в древесине: моногр. Новосибирск: Наука, 1984. 272 с.

15. Baker A.A., Helbert W., Sugiyama J., Miles M.J. Surface Structure of Native Cellulose Microcrystals by AFM // Applied Physics. A: Materials Science and Processing. 1998. Vol. 66, iss. 7. Pp. 559–563.

16. Horikawa Y., Itoh T., Sugiyama J. Preferential Uniplanar Orientation of Cellulose Microfibrils Reinvestigated by the FTIR Technique // Cellulose. 2006. Vol. 13, iss. 3. Pp. 309–316.

17. O'Sullivan A.C. Cellulose: the Structure Slowly Unravels // Cellulose. 1997. No. 4. Pp. 173–207.

18. Zugenmaier P. Crystalline Cellulose and Cellulose Derivatives: Characterization and Structures. Berlin: Springer, 2008. 285 p.

Поступила 26.01.17

UDC 621.3.029.6:674.8

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.152

### **Substantiation of the Interaction Mechanism of Wood Components and Water**

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

*V.O. Matusevich, Candidate of Engineering Sciences*

*V.V. Kuznetsova, Assistant*

Belarusian State University of Transport, ul. Kirova, 34, Gomel, 246653, Republic of Belarus; e-mail: vmatusevich@yandex.ru

---

*For citation:* Vrublevskaya V.I., Matusevich V.O., Kuznetsova V.V. Substantiation of the Interaction Mechanism of Wood Components and Water. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 3, pp. 152–163. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.152

The physical and mechanical properties of wood depend on the amount of moisture in the cell walls, associated with its components. However, we still have no clear idea of the location of bound moisture in the wood substance of the cell walls. The goal of research is to substantiate theoretically the sorption ability of wood components and to simulate this process at the nanoscale, taking into account the size of molecules and atoms. We consider cellulose as the main and most studied component of wood for modeling. The developed spatial spherical model of the cellulose macromolecule and the arrangement of its building blocks in the unit cell make it possible to explain the mechanism of moisture absorption by the cell wall of wood at the molecular level. The hydroxyl groups of cellulose macromolecules and water molecules are of one nature, since the electronegativity of their constituent atoms is the same, which allows them to form easily the intermolecular hydrogen bonds in one layer and between adjacent layers in the crystal. The hydrogen bond is electrostatic in nature. Its energy is about 10 times less than the energy of interatomic covalent bonds. The electronegativity of OH-groups of cellulose and water molecules coincide in importance; therefore, under certain energy conditions of the environment, the water molecule, breaking the intermolecular hydrogen bond of the cellulose molecule, immediately closes it on itself. Similarly, the water molecule leaves the hydrogen bond, if it has sufficient kinetic energy to move. The penetration of water molecules into a cellulose crystal occurs by moving them from one hydrogen bond to another. Water molecules are retained in these bonds only due to their electronegativity. Thus, the interaction mechanism of cellulose microcrystalline with moisture is determined by the fact that water molecules are retained in the hydrogen bonds of the hydroxyl groups of the glucopyranose units of the cellulose macromolecule and are able to move between them. When the water molecule is introduced into the hydrogen bond, the distance between the OH-groups of cellulose is increased by its size; and at a moisture absorption the swelling of the cellulose crystalline structure is about 12 %. Water molecules form hydrogen bonds with lignin and hemicellulose in the same way as with cellulose. The calculation, made through the molecular masses of building blocks of macromolecules, demonstrates, that the maximum quantitative content of physically bound moisture in wood is about 30 %, which corresponds to numerous experimental data of other researchers.

*Keywords:* wood, cellulose, lignin, absorption, bound moisture, hydrogen bond, microcrystallite, electronegativity.

#### REFERENCES

1. Borovikov A.M., Ugolev B.N. *Spravochnik po drevesine* [Wood Reference]. Moscow, 1989. 296 p.
2. Sommer K., Wunsch K.-H., Zettler M. *Wissensspeicher Chemie*. Berlin, 1998. 384 p.
3. Levitina T.P. *Spravochnik po organicheskoy khimii* [Handbook of Organic Chemistry]. Saint Petersburg, 2002. 448 p.
4. Sarkanen K.V., Ludwig C.H., eds. *Lignins: Occurrence, Formation, Structure and Reactions*. New York, 1971. 916 p.
5. Matusevich V.O. *Strukturnye izmeneniya kletochnykh stenok drevesiny i ikh rol' v intensivifikatsii SVCh-sushki drevesnykh vkladyshey podshipnikov skol'zheniya*: dis. ... kand. tekhn. nauk [Structural Changes in the Cell Walls of Wood and Their Role in the Intensification of Microwave Drying of Wood Plain Bearing Liners: Cand. Eng. Sci. Diss.]. Gomel, 2011. 130 p.

6. Nevzorova A.B., Vrublevskiy V.B., Matusevich V.O., Vrublevskaya V.I. *Podshipniki skol'zheniya samosmazyvayushchiesya na osnove modifitsirovannoy drevesiny (teoriya, tekhnologiya i praktika)* [Self-Lubricating Plain Bearings on the Basis of Modified Wood (Theory, Technology and Practice)]. Gomel, 2011. 254 p.
7. Nikitin V.M., Obolenskaya A.V., Shchegolev V.P. *Khimiya drevesiny i tsellyulozy* [Chemistry of Wood and Cellulose]. Moscow, 1978. 368 p.
8. Perelygin L.M., Ugolev B.N. *Drevesinovedenie* [Wood Science]. Moscow, 1971. 286 p.
9. Rabinovich V.A., Khavin Z.Ya. *Kratkiy khimicheskiy spravochnik* [Brief Chemical Handbook]. Leningrad, 1977. 376 p.
10. Rogovin Z.A., Shorygina N.N. *Khimiya tsellyulozy i ee sputnikov* [Chemistry of Cellulose and Its Satellites]. Moscow; Leningrad, 1953. 679 p.
11. Sergovskiy P.S., Rassev A.I. *Gidrotermicheskaya obrabotka i konservirovanie drevesiny* [Hydrothermal Processing and Preserving of Wood]. Moscow, 1987. 360 p.
12. Ugolev B.N. *Drevesinovedenie i lesnoe tovarovedenie* [Wood Science and Forest Commodity Science]. Moscow, 2006. 270 p.
13. Browning B.L., ed. *The Chemistry of Wood*. New York, 1963. 689 p.
14. Chudinov B.S. *Voda v drevesine* [Water in Wood]. Novosibirsk, 1984. 272 p.
15. Baker A.A., Helbert W., Sugiyama J., Miles M.J. Surface Structure of Native Cellulose Microcrystals by AFM. *Applied Physics. A: Materials Science and Processing*, 1998, vol. 66, iss. 7, pp. 559–563.
16. Horikawa Y., Itoh T., Sugiyama J. Preferential Uniplanar Orientation of Cellulose Microfibrils Reinvestigated by the FTIR Technique. *Cellulose*, 2006, vol. 13, iss. 3, pp. 309–316.
17. O'Sullivan A.C. Cellulose: the Structure Slowly Unravels. *Cellulose*, 1997, no. 4, pp. 173–207.
18. Zugenmaier P. *Crystalline Cellulose and Cellulose Derivatives: Characterization and Structures*. Berlin, 2008. 285 p.

Received on January 26, 2017

---

УДК 66.061.4  
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.164

## ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПРОЦЕССА СВЧ-ЭКСТРАКЦИИ ЛУБА В СРАВНЕНИИ С БЕРЕЗОВОЙ КОРОЙ

*А.И. Бадогина, асп.*

*С.И. Третьяков, канд. техн. наук, проф.*

*Н.А. Кутакова, канд. техн. наук, проф.*

*Е.Н. Коптелова, канд. техн. наук, доц.*

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

Представлены общие сведения о березовой коре. Изучены кинетические закономерности процесса сверхвысокочастотной экстракции березовой коры и луба. Для проведения опытов использовалась березовая кора – отход окорки древесины фанерного производства, которая была вручную разделена на луб и бересту. Экстракция проводилась в сверхвысокочастотной камере при оптимальных условиях, установленных ранее. Для изучения зависимости степени извлечения экстрактивных веществ от продолжительности экстракции луба были определены следующие показатели: концентрация экстрактивных веществ в твердом теле, степень недоизвлечения, полученная расчетным и опытным путем. Аналогичные показатели были найдены для березовой коры (совмещенная переработка бересты и луба без предварительного их разделения) для фракций менее 1, 1...2, 2...3 мм. Получен характерный вид логарифмической зависимости симплекса концентрации экстрактивных веществ от продолжительности экстракции для используемых фракций луба и березовой коры. Приведены зависимости степени недоизвлечения от продолжительности экстракции для фракций луба и березовой коры. Установлено, что регулярный режим и линейная зависимость наблюдаются уже после первой минуты проведения сверхвысокочастотной экстракции как для луба, так и для березовой коры. При изучении зависимостей степени недоизвлечения от продолжительности экстракции для различных фракций луба и березовой коры, зафиксировано максимальное значение данного показателя на начальном этапе сверхвысокочастотной экстракции, ближе к ее концу – его уменьшение. С понижением фракции луба меньше степень недоизвлечения, с уменьшением фракции березовой коры больше степень недоизвлечения. Для березовой коры процесс экстракции при достижении продолжительности 10 мин близится к завершению, для луба – еще продолжается. К моменту завершения экстракции степень недоизвлечения экстрактивных веществ из луба в несколько раз больше, чем из березовой коры. Наибольшее значение коэффициента внутренней диффузии в лубе отмечено для фракции менее 1 мм,

---

*Для цитирования:* Бадогина А.И., Третьяков С.И., Кутакова Н.А., Коптелова Е.Н. Исследование кинетических закономерностей процесса СВЧ-экстракции луба в сравнении с березовой корой // Лесн. журн. 2017. № 3. С. 164–175. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.164

наименьшее – для фракции 2...3 мм, в березовой коре наибольшее – для фракции 2...3 мм, наименьшее – для фракции менее 1 мм.

*Ключевые слова:* луб, кора, экстрактивные вещества, сверхвысокочастотная экстракция.

### *Введение*

Березовая кора состоит из внешнего (береста) и внутреннего (луб) слоев [8]. Из бересты можно извлечь до 50 % экстрактивных веществ (ЭВ) [3]. Основным тритерпеноидным соединением березы является пентациклический спирт (бетулин), содержание которого в бересте зависит от вида растения и может составлять до 25 % сухой массы [7]. Результаты проведенных исследований, направленных на изучение способов выделения бетулина и его свойств, представлены в работах [12, 13, 15].

Луб содержит значительное количество (19,3 %) водорастворимых соединений, в том числе дубильных веществ, содержание лигнина составляет около 18,0 % [1]. Авторами [14] изучена возможность получения дубильных веществ, красителей и энтеросорбентов из луба березовой коры. В работе [10] приведены результаты исследования кинетики экстрагирования луба березовой коры, алгоритмы расчета процесса экстрагирования – массообменного процесса, осложненного капиллярно-пористой структурой этого материала, экспериментально определена лимитирующая стадия процесса массообмена и рассчитаны коэффициенты внутренней диффузии.

Одним из эффективных способов экстракции растительных материалов является микроволновая обработка в сверхвысокочастотном (СВЧ) поле. При этом продолжительность процесса экстракции сокращается в 10–15 раз по сравнению с традиционными способами экстрагирования (например, при экстракции методом настаивания) [5]. В настоящее время проведено много исследований в области СВЧ-экстракции растительных материалов.

Целью работы [6] являлось определение лимитирующей стадии процесса массообмена и коэффициентов внутренней диффузии при извлечении ЭВ и бетулина экстрагированием из бересты. При изучении влияния гидродинамических условий на процесс экстрагирования модельных образцов бересты при различной интенсивности перемешивания наблюдалась одинаковая закономерность: в начальный период (до 10 мин) скорость процесса высокая и зависит от гидродинамических условий в аппарате, по мере извлечения ЭВ рабочая длина пор увеличивается, и процесс массообмена полностью переходит во внутридиффузионную область. Рассмотрены алгоритмы расчета внутридиффузионной кинетики процесса экстрагирования бересты, отличающейся сложной капиллярно-пористой анизотропной структурой. Экспериментально подтверждена возможность расчета процесса извлечения ЭВ и бетулина при постоянных значениях коэффициента внутренней диффузии, установлены зависимости этих коэффициентов от размеров частиц бересты [6].

В работе [13] выявлены оптимальные условия для СВЧ-экстракции сапонинов (сайкосапонинов А, С, D) этиловым спиртом из корня володушки (*Radix Bupleuri*): мощность СВЧ-поля – 360...400 Вт, концентрация спирта – 47...50 %, температура – 73...74 °С, продолжительность экстракции – 5,8...6,0 мин.

Исследований, направленных на изучение кинетики процесса СВЧ-экстракции луба в сравнении с берестой, недостаточно. Подготовка березовой коры для СВЧ-экстракции осуществляется вручную и является трудоемким процессом. Береста и луб различаются по механической прочности: луб легко крошится и при просеивании измельченной коры находится в мелких фракциях. Достаточно сложно полностью отделить бересту от луба: при просеивании через сито частички луба попадают во фракцию с преимущественным содержанием бересты. В связи с этим исследования, направленные на разработку комплексной технологии переработки березовой коры без предварительного отделения бересты от луба, перспективны.

Цель настоящей работы – изучение кинетических закономерностей процесса СВЧ-экстракции березовой коры и луба.

#### *Объекты и методы исследования*

В качестве исходного сырья применяли березовую кору, полученную при окорке фанерного кряжа на Архангельском фанерном заводе. Сырье вручную разделяли на луб и бересту. Чтобы измельчить луб и получить необходимые фракции (меньше 1, 1...2, 2...3 мм) использовали дробилку истирающего действия. Березовую кору (без предварительного разделения на бересту и луб) также измельчали для получения различных фракций. Для опытов отбирали навески березовой коры и луба массой 6 г.

Температура является одним из основных параметров процесса экстракции. Известно, что с ее повышением скорость экстракции возрастает, так как усиливаются диффузия и осмотические явления, а также увеличивается растворимость экстрагируемых веществ. Так, в работе [11] показано, что при повышении температуры экстракции от 278,2 до 308,2 К растворимость бетулина в алифатических спиртах возрастает в 2,0–2,3 раза.

В наших исследованиях экстракцию проводили в СВЧ-камере, подробное описание которой представлено в [5], при следующих оптимальных условиях [2]: концентрация этилового спирта (этанол) – 10 %; концентрация гидроксида калия – 16 %; жидкостной модуль – 16. Навеску помещали в колбу и заливали соответствующим количеством экстрагента (водный раствор этилового спирта с добавлением гидроксида калия). Колбу устанавливали в СВЧ-камеру, подсоединяли к обратному холодильнику, включали мешалку и проводили процесс экстракции с использованием различных фракций луба. Отбор проб экстракта осуществляли через 2 мин. Полученный раствор фильтровали, фильтрат упаривали на водяной бане. По массе остатка определяли выход ЭВ.

Для исследования зависимости степени извлечения ЭВ от продолжительности экстракции луба были определены следующие показатели: концентрация ЭВ в массе образца ( $C_T$ , кг/кг), степень недоизвлечения ( $E$ )\*, логарифмическая функция ( $\ln E$ ) и расчетные значения степени недоизвлечения ( $E_{\text{расч}}$ ).

*Пример расчета для фракции луба менее 1 мм в начальный период времени процесса экстракции.* Определяем концентрацию ЭВ в массе образца:

$$C_T = (m_n C_{Tн} - V_{ж} C / 1000) / m_n, \quad (1)$$

где  $m_n$  – масса навески луба, г;

$C_{Tн}$  – начальная концентрация ЭВ в массе образца, кг/кг;

$V_{ж}$  – объем экстракта, полученного в результате опытов, мл;

$C$  – концентрация ЭВ в жидкости в зависимости от продолжительности экстракции, кг/кг.

Исходя из данных, приведенных ранее [4], для фракций луба менее 1 мм, 1...2 мм, 2...3 мм принимаем  $C_{Tн} = 0,34$  кг/кг, для фракций березовой коры менее 1 мм – 0,34; для 1...2 мм – 0,30; для 2...3 мм – 0,28 кг/кг.

Подставляя численные значения в формулу (1), для луба получаем следующее:

$$C_T = (6 \cdot 0,34 - 102 \cdot 13,8 / 1000) / 6 = 0,105 \text{ кг/кг.}$$

Далее определяем степень недоизвлечения:

$$E = C_T / C_{Tн}, \quad (2)$$

или  $E = 0,105 / 0,34 = 0,309$ .

Расчетные значения  $E$  были найдены с использованием следующей формулы:

$$E_{\text{расч}} = B \cdot \exp(-\pi^2 D \tau / R^2), \quad (3)$$

где  $B$  – безразмерный коэффициент, полученный экспериментальным путем;

$D$  – коэффициент внутренней диффузии,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;

$\tau$  – продолжительность экстракции, с;

$R$  – приведенный радиус частицы луба, м.

Подставим численные значения в формулу (3) для луба:

$$E_{\text{расч}} = 0,454 \cdot \exp(-3,14^2 (1,409 \cdot 10^{-10}) 60 / 0,0005^2) = 0,325.$$

После всех расчетов в результате имеем:  $C_T = 0,005 \dots 0,340$ ;  $E = 0,015 \dots 1,000$ ;  $\ln E = -4,200 \dots 0$ ;  $E_{\text{расч}} = 0,016 \dots 0,508$ .

---

\*В теории массообменных процессов с твердым материалом принято понятие «степень недоизвлечения», а не «степень извлечения» [9].

Для сравнения были исследованы зависимости  $E$  от  $\tau$  и для всех фракций березовой коры (совмещенная переработка бересты и луба без предварительного их разделения) получены значения тех же показателей:  $C_T = 0,001...0,340$ ;  $E = 0,004...1,000$ ;  $\ln E = -5,452...0$ ;  $E_{\text{расч}} = 0,006...0,506$ .

*Результаты исследования и их обсуждение*

Характерный вид логарифмической зависимости симплекса концентрации ЭВ от продолжительности экстракции для фракций луба менее 1, 1...2, 2...3 мм показан на рис. 1.

Исходя из полученных графиков, можно сделать вывод о том, что регулярный режим и линейная зависимость наблюдаются после первой минуты проведения СВЧ-экстракции.

Экстраполяцией прямой линии  $\ln \frac{y_p - \bar{y}}{X_n - y_n} = f(\tau)$  до  $\tau = 0$  определяем значение  $B_1$  в уравнении

$$\frac{y_p - \bar{y}}{X_n - y_n} = B_1 \exp(-\mu_1^2 Fo_d), \quad (4)$$

где  $\mu_1$  – корень характеристического уравнения [6];  
 $Fo_d$  – диффузионный критерий Фурье.

Тангенс угла ( $\alpha$ ) наклона прямой

$$\text{tg}\alpha = \mu_1^2 \frac{D}{R^2}. \quad (5)$$

После логарифмирования уравнения (4) имеем:

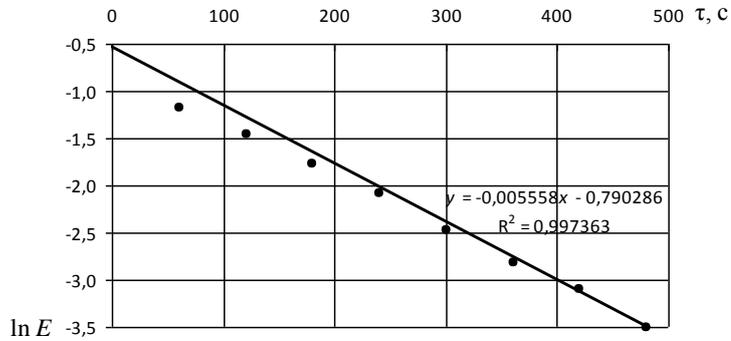
$$\ln \frac{y_p - \bar{y}}{X_n - y_n} = \ln B_1 - \mu_1^2 \frac{D\tau}{l^2}. \quad (6)$$

Аналогичным образом получаем зависимости симплекса концентрации ЭВ от  $\tau$  для фракций березовой коры в целом.

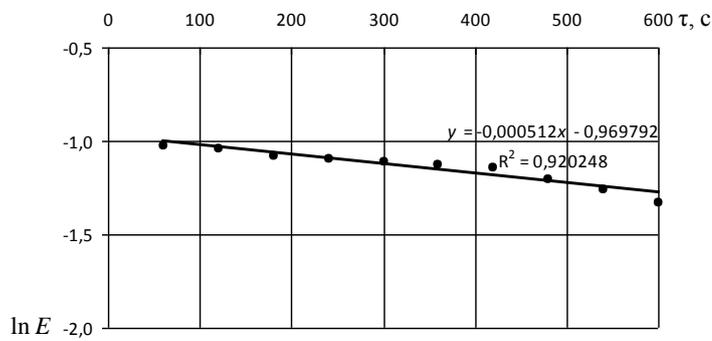
Так же была найдена зависимость  $E$  от  $\tau$  при оптимальных условиях для фракций луба (рис. 2, а) и березовой коры (рис. 2, б).

Маркерами показаны полученные опытным путем значения  $E$ : для фракции менее 1 мм – 0,015...1,000 (луб) и 0,050...1,000 (кора); для фракции 1...2 мм – 0,265...1,000 (луб) и 0,037...1,000 (кора); для фракции 2...3 мм – 0,465...1,000 (луб) и 0,004...1,000 (кора).

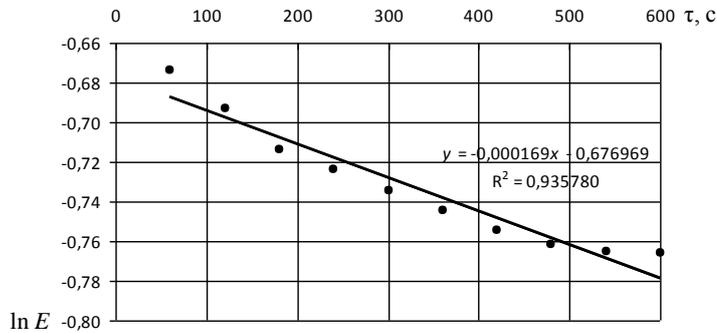
Линиями соединены полученные расчетным путем значения  $E_{\text{расч}}$ : для фракции менее 1 мм – 0,0,16...0,454 (луб) и 0,043...0,506 (кора), для фракции 1...2 мм – 0,279...0,379 (луб) и 0,027...0,358 (кора), для фракции 2...3 мм – 0,459...0,508 (луб) и 0,006...0,398 (кора).



*a*

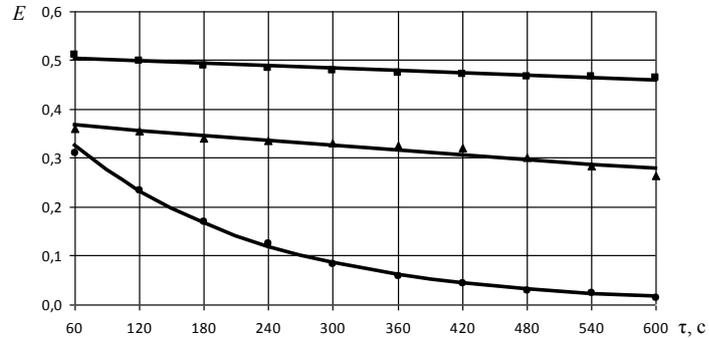


*b*

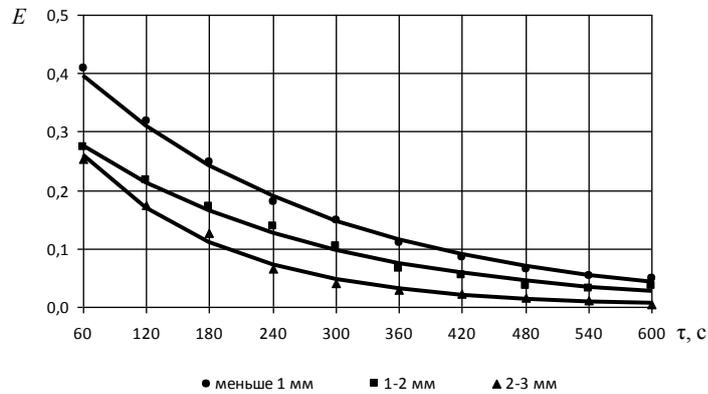


*v*

Рис. 1. Зависимость  $\ln[(y_p - \bar{y}) / (X_n - y_n)] = f(\tau)$  при извлечении ЭВ из фракции луба: *a* – менее 1 мм; *b* – 1...2 мм; *v* – 2...3 мм



а



б

Рис. 2. Зависимость степени недоизвлечения  $E$  от продолжительности экстракции  $\tau$  для различных фракций луба (а) и березовой коры (б)

По приведенным данным можно констатировать, что в самом начале процесса экстракции луба  $E$  имеет максимальное значение 0,30...0,50. При  $\tau = 10$  мин степень недоизвлеченности уменьшается и составляет 0,01...0,45 в зависимости от используемой фракции. Наибольшее значение отмечено у фракции 2...3 мм, наименьшее – у фракции менее 1 мм. С уменьшением размеров частиц сырья  $E$  снижается, с увеличением – возрастает.

При исследовании различных фракций березовой коры также наблюдается сначала максимальное значение показателя ( $E = 0,25...0,40$ ), потом он снижается до 0...0,05. Наибольшее значение этого показателя отмечено у фракции березовой коры размерами менее 1 мм, наименьшее – у фракции 2...3 мм. С уменьшением размеров частиц сырья  $E$  увеличивается, и наоборот. Для всех рассчитанных величин выявлено совпадение с экспериментальными данными.

Таким образом, для березовой коры при  $\tau = 10$  мин процесс экстракции близится к завершению, для луба – еще продолжается. К моменту завершения экстракции луба показатель  $E$  в 9 раз больше, чем у березовой коры. Подобные различия, вероятно, могут быть объяснены анизотропными свойствами бересты и усилением эффекта СВЧ-воздействия на процесс экстракции. В связи с этим совмещенная переработка обеих частей коры нецелесообразна.

При расчете коэффициента внутренней диффузии ( $D$ , м<sup>2</sup>/с) для фракций луба менее 1 мм использовали следующую формулу:

$$D = \frac{\text{tg}\alpha \cdot R^2}{\pi^2}, \quad (7)$$

или

$$D = \frac{0,005558 \cdot 0,0005^2}{3,14^2} = 1,409 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Аналогичным образом были получены значения  $D$  для остальных фракций луба и березовой коры:  $2,921 \cdot 10^{-11}$  – 1...2 мм,  $2,678 \cdot 10^{-11}$  – 2...3 мм (луб);  $1,039 \cdot 10^{-10}$  – меньше 1 мм,  $2,470 \cdot 10^{-10}$  – 1...2 мм,  $1,123 \cdot 10^{-9}$  – 2...3 мм (березовая кора). При экстракции луба наибольшее значение данного показателя наблюдается у фракции размером менее 1 мм, наименьшее – у фракции 2...3 мм, при экстракции березовой коры наибольшее значение отмечено у фракции 2...3 мм, наименьшее – у фракции менее 1 мм. Таким образом, характер зависимости коэффициента диффузии от размера частиц при экстракции коры изменяется на противоположный.

#### *Выводы*

1. СВЧ-поле сильнее влияет на экстракцию бересты, чем луба. Присутствие бересты в лубе повышает степень извлечения ЭВ из луба, что позволяет проводить экстракцию сырья без предварительного ручного разделения луба и бересты. Это может послужить основой для разработки комплексной технологии переработки березовой коры.

2. При изучении зависимости степени недоизвлечения от продолжительности СВЧ-экстракции для различных фракций луба и березовой коры на начальном этапе отмечается максимальное значение данного показателя, ближе к концу процесса – значительное его снижение.

3. С уменьшением размеров частиц луба степень недоизвлечения снижается, и наоборот. С уменьшением размеров частиц березовой коры в целом степень недоизвлечения увеличивается, и наоборот. Для березовой коры при достижении продолжительности 10 мин процесс экстракции близится к завершению, для луба – еще продолжается. К моменту завершения экстракции степень недоизвлечения у луба в 9 раз больше, чем у березовой коры.

4. Наибольшее значение коэффициента внутренней диффузии отмечено для фракции луба размером менее 1 мм, наименьшее – для фракции 2...3 мм. Наибольшее значение данного показателя имеет фракция березовой коры размером 2...3 мм, наименьшее – фракция менее 1 мм, т. е. зависимости противоположны.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ведерников Д.Н., Шабанова Н.Ю., Роцин В.И. Изменение химического состава корки и луба березы повислой *Betula pendula* Roth. (*Betulaceae*) по высоте дерева // Химия растит. сырья. 2010. № 2. С. 43–48.
2. Захарова А.И., Третьяков С.И., Кутакова Н.А., Коптелова Е.Н. Выделение экстрактивных веществ из луба коры березы при воздействии СВЧ-поля // Лесн. журн. 2015. № 4. С. 148–155. (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Кислицын А.Н. Экстрактивные вещества бересты: выделение, состав, свойства, применение. Обзор // Химия древесины. 1994. № 3. С. 3–28.
4. Коптелова Е.Н., Кутакова Н.А., Третьяков С.И. Извлечение экстрактивных веществ и бетулина из бересты при воздействии СВЧ-поля // Химия растит. сырья. 2013. № 4. С. 159–164.
5. Коптелова Е.Н., Кутакова Н.А., Третьяков С.И. Исследование кинетики массопереноса в процессе экстрагирования бересты // Лесн. журн. 2013. № 4. С. 119–128. (Изв. высш. учеб. заведений).
6. Коптелова Е.Н., Третьяков С.И., Кутакова Н.А. Влияние вида измельчения на процесс экстракции бересты // X Междунар. науч.-практ. конф. «Современные концепции научных исследований». Москва, 30-31 янв. 2015 г. Ч. 1. Техн. науки. С. 59–62.
7. Похило Н.Д., Денисенко В.А., Баранов В.И., Уварова Н.И. Тритерпеноиды внешней коры *Betula taxitowicziana* // Химия природ. соединений. 1986. № 5. С. 650–652.
8. Похило Н.Д., Уварова Н.И. Изопреноиды различных видов рода *Betula* // Химия природ. соединений. 1988. Т. 3. С. 325–341.
9. Романков П.Г., Курочкина М.И. Экстрагирование из твердых материалов. Л.: Химия, 1983. 256 с.
10. Третьяков С.И., Коптелова Е.Н., Кутакова Н.А., Бадюгина А.И., Макаревич Н.А. Кинетические закономерности процесса экстрагирования луба березовой коры // Развитие Северо-Арктического региона: проблемы и решения: материалы науч. конф. проф.-преподават. состава, науч. сотр. и асп. САФУ им. М.В. Ломоносова / сост. С.В. Тевлина, С.В. Рябченко. Архангельск: САФУ, 2016. С. 378–382.
11. Dan C., Guoling Z., Weidong Y. Solubilities of Betulin in Fourteen Organic Solvents at Different Temperatures // J. of Chemical Engineering Data. 2007. Vol. 52, no. 4. Pp. 1366–1368.
12. Drebuschak T.N., Mikhailenko M.A., Brezgunova M.E., Shakhtshneider T.P., Kuznetsova S.A. Crystal Structure Of Betulin Ethanol Solvate // J. of Structural Chemistry. 2010. Vol. 51, no. 4. Pp. 798–801.
13. Guoling Z., Weidong Y., Dan C. Simultaneous Determination of Betulin and Betulinic Acid in White Birch Bark using RP-HPLC // J. of Pharmaceutical and Biomedical Analysis. 2007. Vol. 43, no. 3. Pp. 959–962.

14. *Kuznetsova S.A., Levdansky V.A., Kuznetsov B.N., Shchipko. M.L., Ryazanova T.V., Kovalchuk N.M.* Obtaining Tanning Agents, Dyes, and Enterosorbents from Bast of a Birch Bark // *Chemistry for Sustainable Development*. 2005. no. 3. Pp. 399–407.

15. *Tolstikov G.A., Flekhter O.B., Shultz E.E., Baltina L.A., Tolstikov A.G.* Betulin and Its Derivatives. Chemistry and Biological Activity // *Chemistry for Sustainable Development*. 2005. Vol. 13, no. 1. Pp. 1–29.

Поступила 22.12.16

UDC 66.061.4

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.164

### **The Comparison of Kinetics of Microwave-Assisted Extraction of Bast and Birch Bark**

*A.I. Badogina, Postgraduate Student*

*S.I. Tret'yakov, Candidate of Engineering Sciences, Professor*

*N.A. Kutakova, Candidate of Engineering Sciences, Professor*

*E.N. Koptelova, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor*

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

The overview of birch bark is presented. Kinetics of the microwave extraction process of birch bark and bast are studied. For the experiments we use wood bark residual of the plywood production manually divided into bast and bark. The extraction is carried out in a microwave chamber under the earlier determined optimal conditions. The following parameters are calculated to investigate the dependence of the degree of extraction of extractives on the duration of bast extraction: the concentration of extractives in solids, the degree of insufficient extraction, obtained by the calculated and experimental methods. Similar indicators are determined for birch bark (combined processing of birch bark and bast without prior separation) for fractions of less than 1 mm, 1...2 mm, 2...3 mm. The characteristic form of the logarithmic dependence of the concentration simplex of extractives on the duration of extraction for the fractions of bast and birch bark is obtained. Dependences of the degree of insufficient extraction on the duration of extraction for fractions of bast and birch bark are presented. A regular mode and linear relationship are observed even after the first minute of microwave extraction for bast and for birch bark. When studying the dependences of the degree of insufficient extraction on the duration of extraction for different factions of bast and birch bark we observe a maximum value of this index in the initial phase of the microwave extraction, and towards the end of the process – its reduction. With a decrease in the bast fraction, the degree of insufficient extraction is less; with a decrease in the fraction of birch bark the degree of insufficient extraction is greater. For birch bark the extraction process lasts for about 600 s, and for bast it lasts for a considerable time. By the time the extraction is completed, the degree of insufficient extractives from bast is several times greater

---

*For citation:* Badogina A.I., Tret'yakov S.I., Kutakova N.A., Koptelova E.N. The Comparison of Kinetics of Microwave-Assisted Extraction of Bast and Birch Bark. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 3, pp. 164–175. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.164

than from birch bark. The greatest value of the internal diffusion coefficient in bast is observed for the fraction of less than 1 mm, and the least – for the fraction of 2...3 mm; the greatest value in birch bark is observed for the fraction of 2...3 mm, and the least – for the fraction of less than 1 mm.

*Keywords:* bast, bark, extractives, microwave extraction.

#### REFERENCES

1. Vedernikov D.N., Shabanova N.Yu., Roshchin V.I. Изменение химического состава корки и луба березы повислой *Betula pendula* Roth. (*Betulaceae*) по высоте дерева [Alteration of Group Chemical Composition of Birch (*Betula Pendula* Roth.) Bark Parts on the Height of Tree]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of Plant Raw Material], 2010, no. 2, pp. 43–48.
2. Zakharova A.I., Tret'yakov S.I., Kutakova N.A., Koptelova E.N. Выделение экстрактивных вешеств из луба коры березы при воздействии СВЧ-поля [Extractives Isolation Procedure from Birchbark Bast on Exposure to the Microwave Field]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2015, no. 4, pp. 148–155.
3. Kislitsyn A.N. Экстрактивные вешества бересты: выделение, состав, свойства применения [Extractive Substances of Birch Bark: Isolation, Composition, Properties, Application]. *Khimiya drevesiny*, 1994, no. 3, pp. 3–28.
4. Koptelova E.N., Kutakova N.A., Tret'yakov S.I. Извлечение экстрактивных вешеств и бетулина из бересты при воздействии СВЧ-поля [Removing the Extractives and Betulin from Birch Bark Exposed Microwave Field]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of Plant Raw Material], 2013, no. 4, pp. 159–164.
5. Koptelova E.N., Kutakova N.A., Tret'yakov S.I. Исследование кинетики массопереноса в процессе экстрагирования бересты [Study of Mass Transfer Kinetics During Birch Bark Extraction]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2013, no. 4, pp. 119–128.
6. Koptelova E.N., Tret'yakov S.I., Kutakova N.A. Влияние вида измельчения на процесс экстракции бересты [The Impact of the Grinding Type of on the Birch Bark Extracting Process]. *X Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Sovremennye kontseptsii nauchnykh issledovaniy» (Moskva, 30-31 yanv. 2015 g.). Ch. 1. Tekhn. nauki* [10th Int. Sci. Prac. Conf. “Modern Concepts of Scientific Research” (Moscow, January 30-31, 2015). Part 1. Engineering Sciences]. Moscow, 2015, pp. 59–62.
7. Pokhilo N.D., Denisenko V.A., Baranov V.I., Uvarova N.I. Тримерпеноиды внешней коры *Betula maximowicziana* [Triterpenoids of the Outer Bark of *Betula maximowicziana*]. *Khimiya prirodnikh soedineniy*, 1986, no. 5, pp. 650–652.
8. Pokhilo N.D., Uvarova N.I. Изопреноиды различных видов рода *Betula* [Isoprenoids of Various Species of the Genus *Betula*]. *Khimiya prirodnikh soedineniy*, 1988, vol. 3, pp. 325–341.
9. Romankov P.G., Kurochkina M.I. *Ekstragirovanie iz tverdykh materialov* [Extraction from Solid Materials]. Leningrad, 1983. 256 p.
10. Tret'yakov S.I., Koptelova E.N., Kutakova N.A., Badogina A.I., Makarevich N.A. Кинетические закономерности процесса экстрагирования луба березовой коры [Kinetics of the Extraction Process of Birch Bark Bast]. *Razvitie Severo-Arkticheskogo regiona: problemy i resheniya: materialy nauch. konf. prof.-prepodavat. sostava, nauch. sotr. i asp. SAFU im. M.V. Lomonosova* [Development of the North-Arctic Region: Problems and Solu-

tions: Proc. Sci. Conf. of Higher-Education Teaching Personnel, Research Officers and Postgraduate Students of NArFU named after M.V. Lomonosov]. Ed. by S.V. Tevlina, S.V. Ryabchenko. Arkhangelsk, 2016, pp. 378–382.

11. Dan C., Guoling Z., Weidong Y. Solubilities of Betulin in Fourteen Organic Solvents at Different Temperatures. *J. of Chemical and Engineering Data*, 2007, vol. 52, no. 4, pp. 1366–1368.

12. Drebuschak T.N., Mikhailenko M.A., Brezgunova M.E., Shakhtshneider T.P., Kuznetsova S.A. Crystal Structure of Betulin Ethanol Solvate. *J. of Structural Chemistry*, 2010, vol. 51, no. 4, pp. 798–801.

13. Guoling Z., Weidong Y., Dan C. Simultaneous Determination of Betulin and Betulinic Acid in White Birch Bark Using RP-HPLC. *J. of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 2007, vol. 43, no. 3, pp. 959–962.

14. Kuznetsova S.A., Levdansky V.A., Kuznetsov B.N., Shchipko M.L., Ryazanova T.V., Kovalchuk N.M. Obtaining Tanning Agents, Dyes, and Enterosorbents from Bast of a Birch Bark. *Chemistry for Sustainable Development*, 2005, no. 3, pp. 399–407.

15. Tolstikov G.A., Flekhter O.B., Shultz E.E., Baltina L.A., Tolstikov A.G. Betulin and Its Derivatives. Chemistry and Biological Activity. *Chemistry for Sustainable Development*, 2005, vol. 13, no. 1, pp. 1–29.

Received on December 22, 2016



ЮБИЛЕИ

УДК 06.091

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.176

**МАТВЕЕВА РИММА НИКИТИЧНА – УЧЕНЫЙ-СЕЛЕКЦИОНЕР**



6 февраля 2017 г. исполнилось 75 лет Римме Никитичне Матвеевой, известному ученому в области селекции древесных растений не только в России, но и в ближнем и дальнем зарубежье, доктору сельскохозяйственных наук, профессору, заслуженному лесоводу России, почетному работнику высшего профессионального образования РФ, председателю (1998–2010 гг.) Сибирского регионального отделения наук о лесе Российской академии естественных наук (РАЕН) и действительному члену РАЕН, председателю диссертационного совета (с 2005 г. и по настоящее время) при Сибирском аэрокосмическом университете (СибГАУ) по защите докторских и кандидатских диссертаций по специальностям 06.03.01 и 06.03.02.

Римма Никитична родилась в 1942 г. в г. Канске Красноярского края в многодетной рабочей семье. В 1960 г. она поступила на лесохозяйственный факультет Сибирского технологического института (СибТИ). Увлеченность научно-исследовательской работой и любовь к кедр сибирскому Римме Никитичне привила ее научный руководитель – доцент кафедры лесных культур, кандидат сельскохозяйственных наук О.П. Олисова. Тема ее дипломной работы – «Поиски путей ускорения роста кедра сибирского». В нее вошли результаты исследований по влиянию рентгеновских лучей (облучение семян разными дозами проводили в Институте физики), микроэлементов и стимуляторов роста при предпосевной обработке семян и внекорневой подкормке сеянцев.

После окончания института в 1965 г. получила распределение в Долгомостовский лесхоз Красноярского края. В течение двух лет работала в должности инженера охраны леса, проводила опыты по размножению кедра сибирского прививкой на сосну обыкновенную, изучала обработку семян кедра си-

бирского физиологически активными веществами, делала посевы, выращивала посадочный материал. В 1967 г. Р.Н. Матвеева получила приглашение в очную аспирантуру при СибТИ и продолжила исследования по селекции кедра сибирского. В дендрарии СибТИ она выращивала сеянцы при разной продолжительности освещения, включая дополнительное ночное, использовала светодиоды различной окраски и др.

В 1974 г. она успешно защитила кандидатскую диссертацию в Ленинградской лесотехнической академии на тему «Выращивание сеянцев кедра сибирского с применением гетероауксина и дополнительного освещения». После окончания аспирантуры работала в СибТИ заведующей дендрарием, ассистентом, старшим преподавателем, доцентом. В течение 34 лет возглавляла кафедру лесных культур (селекции, лесных культур и озеленения; селекции и озеленения) Сибирского государственного технического университета (СибГТУ). Под ее руководством и при непосредственном участии в Восточной Сибири были созданы производственные плантационные культуры кедра сибирского клонами и полусибями отселектированных плюсовых деревьев на территории Западно-Саянского опытного лесного хозяйства (площадь 25 га), опытные плантации кедровых сосен в учебно-опытном лесхозе СибГТУ (22 га).

Римма Никитична постоянно расширяла круг своих научных интересов, руководила работами по интродукции древесных растений, увеличила ассортимент интродуцированных видов и площадь дендрария до 8 га. Под ее руководством была защищена кандидатская диссертация по интродукции растений.

В 1989 г. В.Н. Севастьянов, будучи ректором института, поручил Р.Н. Матвеевой осуществлять руководство научными исследованиями в Ботаническом саду им. В.М. Крутовского в целях восстановления и приумножения коллекции яблони. Коллекция, включающая 39 сортов, была восстановлена. По плодоводству под ее руководством было защищено три кандидатские диссертации.

В 1990 г. Римме Никитичне было присвоено звание профессора, в 1994 г. она защитила докторскую диссертацию в Марийском политехническом институте на тему «Особенности хранения семян, выращивания посадочного материала и создания культур целевого назначения сосны сибирской».

В настоящее время при ее участии продолжают исследования по созданию плантаций кедра сибирского разного географического происхождения, формового разнообразия с использованием посадочного материала, отселектированного по элементам ранней диагностики. Создаются плантации второго поколения. По селекции кедра сибирского под ее руководством защищено 11 кандидатских диссертаций. Она являлась консультантом докторской диссертации.

Труд Р.Н. Матвеевой отмечен правительственными наградами: знаком «За сбережение и приумножение лесных богатств РСФСР» (1972 г.), медалями «Победитель социалистического соревнования» (1979 г.), «Ударник деся-

той пятилетки» (1979 г.), «Ветеран труда СССР» (1986 г.), бронзовой медалью ВДНХ СССР (1987 г.), знаками «Заслуженный лесовод РФ» (1998 г.) и «Почетный работник высшего профессионального образования РФ» (2005 г.). Она была награждена почетными грамотами руководителя Федеральной службы лесного хозяйства России (2000 г.), главы г. Красноярска (2010 г.), благодарственным письмом губернатора Красноярского края (2015 г.).

В 2001 и 2002 гг. Р.Н. Матвеева читала лекции по выращиванию кедра сибирского в Большом Хинганском региональном научно-исследовательском институте лесного хозяйства и Северо-Восточном университете леса Китайской Народной Республики.

Римма Никитична имеет около 600 публикаций по селекции, лесным культурам, интродукции, плодоводству, включая монографии (более 30 шт.), участвовала в разработке баз данных, рекомендаций, ГОСТов, ОСТов, РТУ (более 80 шт.). С 1997 г. и по настоящее время она является организатором и научным редактором ежегодного сборника Международной научной конференции «Плодоводство, семеноводство и интродукция древесных растений».

Ее фамилия внесена в 2-й том энциклопедии «Лица России» и в «Большую международную энциклопедию. Лучшие люди (Россия, Казахстан, Украина, Беларусь)».

В настоящее время Римма Никитична работает в должности профессора кафедры селекции и озеленения СибГАУ. Ее ученики трудятся в вузах, научно-исследовательских институтах, министерствах России, неся в своих сердцах любовь к лесу!

Редколлегия «Лесного журнала», коллеги, ученики и друзья желают Римме Никитичне крепкого здоровья, новых творческих успехов.

*В.И. Мелехов<sup>1</sup>, Н.А. Бабич<sup>1</sup>, Н.П. Братилова<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова

<sup>2</sup>Сибирский государственный аэрокосмический университет им. М.Ф. Решетнева

UDC 06.091

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.176

**Rimma N. Matveeva – a Scientist and a Plant Selection Breeder**

*V.I. Melekhov<sup>1</sup>, N.A. Babich<sup>1</sup>, N.P. Bratilova<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

<sup>2</sup>Siberian State Aerospace University named after academician M.F. Reshetnev

УДК 06.091

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.179

## ЮБИЛЕЙ ПРОФЕССОРА БОРИСА ВАСИЛЬЕВИЧА БАБИКОВА



22 июня исполняется 85 лет со дня рождения заслуженного деятеля науки Российской Федерации, академика Российской академии естественных наук и Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности, доктора сельскохозяйственных наук, профессора Б.В. Бабикова.

Борис Васильевич родился в г. Весьегонске Тверской области. С 14 лет работал столяром на деревокомбинате. После окончания вечерней школы поступил в Лисинский лесной техникум и с отличием окончил его, работал помощником лесничего в Перинском лесничестве Лисинского учебно-опытного лесхоза. В 1953 г. был направлен в Ленинградскую лесотехническую академию (ЛТА). После окончания академии в 1958 г. трудился в То-

сненском лесхозе инженером по лесному хозяйству и главным лесничим. С 1962 по 1964 г. учился в аспирантуре на кафедре лесных культур у профессора Х.А. Писарькова. Для проведения исследований по выращиванию лесных культур организовал в Тосненском лесхозе лесокультурный стационар. В 1964 г. успешно защитил кандидатскую диссертацию.

В 1965 г. принят в штат ЛТА на должность научного сотрудника. Для изучения гидрологических особенностей осушенных болот им создан стационар, где изучались водный баланс и баланс углекислого газа при осушении болот. Лесовыращивание – длительный процесс. Для комплексной оценки влияния осушения на лесные биогеоценозы и окружающую среду под общим руководством Б.В. Бабикова в 1973 г. был заложен стационар «Малиновский» в Лисино, где изучались и изучаются водный режим почв на основе водного баланса (осадки, сток, испарение), влияние удобрений на плодородие почв и рост леса на осушенных торфяниках, осадка торфа после осушения, изменение во времени агрохимических характеристик осушенных торфяных почв.

Созданные Борисом Васильевичем стационары регулярно используются для проведения учебных практик и конференций.

В 1976 г. он защитил докторскую диссертацию.

С 1972 г. и по настоящее время – заведующий кафедрой почвоведения и гидромелиорации лесохозяйственного факультета, с 1976 по 1990 г. – декан этого факультета.

Б.В. Бабилов является признанным специалистом в области осушения и использования болот, преподает курс гидромелиорации. В 1984 г. увидел свет его учебник «Гидротехнические мелиорации лесных земель», рекомендованный Министерством высшего образования для студентов специальности «Лесное хозяйство», который переиздавался 8 раз.

Борис Васильевич развивает идеи классического и современного лесоводства применительно к заболоченным землям. Он известный ученый в области мелиорации переувлажненных земель, выполнивший многолетние круглогодичные водно-балансовые исследования на осушенных болотах. Впервые для условий таежной зоны проведен анализ изменения стока при различной интенсивности осушения заболоченных лесных земель для года в целом. На основе длительных исследований дана оценка влияния осушения на водное питание рек и разработал рекомендации по выращиванию высокопродуктивных насаждений на осушенных болотах. Установлена рекордная производительность осушаемых болот. Показано, что в возрасте 40 лет наличный запас древостоя сосновых лесных культур может достигать  $375 \text{ м}^3/\text{га}$ , среднее накопление запаса без учета отпада превышает  $9 \text{ м}^3/\text{га}$ . Значимы результаты его исследований по продуцированию и эмиссии в атмосферу углекислого газа торфяными почвами.

Борис Васильевич – постоянный участник всероссийских и международных конференций. Одна из последних его поездок состоялась в конце 2016 г. (г. Хельсинки), когда он выступил с сообщением о влиянии осушенных болот на водное питание рек на совещании по проблемам изменения климата.

Им опубликовано более 250 печатных работ. По результатам его многолетних стационарных исследований в издательстве «Наука» в 2004 г. вышла монография «Экология сосновых лесов на осушенных болотах». Большое значение для сохранения традиций отечественного лесоводства имеет издание кафедрой почвоведения и гидромелиорации СПбЛТА под редакцией Б.В. Бабилова в 2006 г. материалов о почвенно-гидрологических исследованиях в Лисинском учебно-опытном лесхозе, показывающих пути развития лесосушения и этапы становления гидромелиоративной науки.

Б.В. Бабиловым подготовлено 14 кандидатов наук. Четверо из его учеников стали докторами наук, многие являются руководителями кафедр и отделений научных подразделений в России и за рубежом. В возглавляемом им диссертационном совете было защищено более 300 работ на соискание ученой степени, в том числе доктора наук – более 80.

Борис Васильевич награжден орденом Трудового Красного Знамени, медалью ордена «За заслуги перед Отечеством» II степени и другими правительственными и отраслевыми медалями.

Ученики и коллеги высоко ценят его целеустремленность и трудолюбие и желают ему здоровья и новых творческих достижений!

*В.В. Пахучий<sup>1</sup>, А.А. Селиванов<sup>2</sup>, Н.А. Дружинин<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Сыктывкарский лесной институт – филиал Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета им. С.М. Кирова

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова

<sup>3</sup> Вологодская государственная молочнохозяйственная академия им. Н.В. Верещагина

UDC 06.091

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.3.179

#### **Anniversary of Professor Boris V. Babikov**

*V.V. Pakhuchiy<sup>1</sup>, A.A. Selivanov<sup>2</sup>, N.A. Druzhinin<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Syktyvkar Forest Institute – Branch of Saint Petersburg State Forest Technical University under name of S.M. Kirov

<sup>2</sup> Saint Petersburg State Forest Technical University under name of S.M. Kirov

<sup>3</sup> Vologda State Dairy Farming Academy by N.V. Vereshchagin

«Лесной журнал» публикует научные статьи по всем отраслям лесного дела, сообщения о внедрении законченных исследований в производство, о передовом опыте в лесном хозяйстве и лесной промышленности, информацию о научной жизни высших учебных заведений, рекламные материалы и объявления. Предназначается для научных работников, аспирантов, инженеров лесного хозяйства и лесной промышленности, преподавателей и студентов.

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ  
«ЛЕСНОЙ ЖУРНАЛ» № 3/357

**Подписной индекс: 70368, 93510**

Выпускающий редактор И.В. Кузнецова, редактор Л.С. Окулова  
Компьютерная верстка О.В. Деревцовой, Е.Б. Красновой  
Перевод Е.Г. Кузнецовой

---

Сдан в набор 24.03.2017. Подписан в печать 05.05.2017. Заказ № 5137  
Форм. бум. 70×108 1/16. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 15,350.  
Уч.-изд. л. 10,330. Тираж 1000 экз.  
Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

---

Адрес редакции: 163002, г. Архангельск, наб. Сев. Двины, 17,  
тел./факс: +7 (818-2) 28-76-18,  
e-mail: forest@narfu.ru, <http://lesnoizhurnal.ru/>

---

Свидетельство о регистрации средств массовой информации ПИ № ФС77-68484 от 27.01.2017.

Издательский дом им. В.Н. Булатова САФУ  
163060, г. Архангельск, ул. Урицкого, 56

© ИВУЗ, «Лесной журнал», 2017

“Lesnoi Zhurnal” publishes scientific articles covering all areas of forestry, updates its readers on the use of completed research in production and on the best practice in forest industry and management. On its pages you can also find information about scientific activities at higher educational institutions, as well as advertisements and announcements. The journal is intended for scientists, PhD students, forestry engineers, university and college faculty, and students.

BULLETIN OF HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTIONS  
“LESNOY ZHURNAL” no. 3/357

**Subscription index: 70368, 93510**

Executive editor I.V. Kuznetsova, editor L.S. Okulova  
Make-up by O.V. Derevtsova, E.B. Krasnova  
Translator E.G. Kuznetsova

---

Sent to the printer's 24.03.2017. Signed in print 05.05.2017. Order no. 5137  
Paper format 70×108 1/16. Times Font. Conv. printer's sh. 15.350.  
Acad. publ. sh. 10.330. Circulation 1000 copies.  
Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

---

Contacts: 17 Naberezhnaya Severnoy Dviny, Arkhangelsk, 163002, Russia,  
phone/fax +7 (8182) 28-76-18,  
e-mail: forest@narfu.ru, <http://lesnoizhurnal.ru/>

---

Registration certificate ПИ № ФС77-68484 issued on 27.01.2017.

NArFU Publishing House under name of V.N. Bulatov  
Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education  
“Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov”  
56 Uritskogo St., Arkhangelsk, 163060



© IVUZ, “Lesnoi Zhurnal”, 2017

