

ISSN 0536-1036

DOI: 10.17238/issn0536-1036

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

---

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

ИЗВЕСТИЯ  
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

---

# Лесной журнал

**Научный рецензируемый журнал**

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

3/369

2019

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

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

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

## ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

**Бессчетнов В.П.**, д-р биол. наук, проф. (Россия, Нижний Новгород)  
**Билей П.В.**, д-р техн. наук, проф., акад. ЛАН Украины (Украина, Львов)  
**Богданович Н.И.**, д-р техн. наук, проф. (Россия, Архангельск)  
**Ван Хайнинген А.**, д-р наук, проф. (США, Ороно)  
**Воронин А.В.**, д-р техн. наук, проф. (Россия, Петрозаводск)  
**Ефремова С.В.**, д-р техн. наук, проф. (Республика Казахстан, Алматы)  
**Залесов С.В.**, д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Екатеринбург)  
**Камусин А.А.**, д-р техн. наук, проф. (Россия, Москва)  
**Кищенко И.Т.**, д-р биол. наук, проф. (Россия, Петрозаводск)  
**Кожухов Н.И.**, д-р экон. наук, проф., акад. РАН (Россия, Москва)  
**Куров В.С.**, д-р техн. наук, проф. (Россия, Санкт-Петербург)  
**Лупашку Т.Г.**, д-р хим. наук, проф., акад. АНМ (Республика Молдова, Кишинев)  
**Малыгин В.И.**, д-р техн. наук, проф. (Россия, Северодвинск)  
**Матвеева Р.Н.**, д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Красноярск)  
**Мерзленко М.Д.**, д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Москва)  
**Моисеев Н.А.**, д-р с.-х. наук, проф., акад. РАН (Россия, Москва)  
**Мясищев Д.Г.**, д-р техн. наук, проф. (Россия, Архангельск)  
**Наквасина Е.Н.**, д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Архангельск)  
**Нимц П.**, д-р наук, проф. (Швейцария, Цюрих)  
**Обливин А.Н.**, д-р техн. наук, проф. (Россия, Москва)  
**Онегин В.И.**, д-р техн. наук, проф. (Россия, Санкт-Петербург)  
**Памфилов Е.А.**, д-р техн. наук, проф. (Россия, Брянск)  
**Романов Е.М.**, д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Йошкар-Ола)  
**Сакса Т.**, д-р с.-х. наук, ст. науч. сотр. (Финляндия, Хельсинки)  
**Санаев В.Г.**, д-р техн. наук, проф. (Россия, Москва)  
**Селиховкин А.В.**, д-р биол. наук, проф. (Россия, Санкт-Петербург)  
**Сергеевичев В.В.**, д-р техн. наук, проф. (Россия, Санкт-Петербург)  
**Сёренсен У.Я.**, д-р наук, проф. (Норвегия, Стейнхьер)  
**Сигурдссон Б.Д.**, д-р наук, проф. (Исландия, Хваннейри)  
**Тараканов А.М.**, д-р с.-х. наук, гл. науч. сотр. (Россия, Архангельск)  
**Тельшева Г.М.**, д-р хим. наук, проф. (Латвия, Рига)  
**Усольцев В.А.**, д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Екатеринбург)  
**Хабаров Ю.Г.**, д-р хим. наук, проф. (Россия, Архангельск)  
**Хакимова Ф.Х.**, д-р техн. наук, проф. (Россия, Пермь)  
**Холуша О.**, д-р наук, проф. (Чехия, Брно)  
**Черная Н.В.**, д-р техн. наук, проф. (Республика Беларусь, 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. (Республика Беларусь, Минск)  
**Энгельмани Х.-Д.**, д-р инж. наук, проф. (Германия, Эмден)

---

ISSN 0536-1036

DOI: 10.17238/issn0536-1036

MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION OF THE RUSSIAN FEDERATION

---

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

BULLETIN  
OF HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTIONS

---

# Lesnoy Zhurnal

## (Forestry Journal)

**Scientific peer-reviewed journal**

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

3/369

2019

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

## **EDITORIAL BOARD:**

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

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

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

---



## СОДЕРЖАНИЕ

## ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

- В.В. Иванов, А.Н. Борисов, А.Е. Петренко.* Влияние густоты древостоя на формирование кроны и рост по диаметру сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.)..... 9
- А.К. Мухин.* Многолетняя динамика заболачивающихся сосняков в условиях влияния водохранилища..... 17
- Е.А. Ведерников, С.В. Залесов, Е.С. Залесова, А.Г. Магасумова, О.В. Толкач.* Обеспеченность подростом спелых и перестойных темнохвойных насаждений Пермского края..... 32
- В.П. Иванов, С.И. Марченко, Д.И. Нартов.* Противопожарная профилактика лесных объектов..... 43
- Н.В. Примаков.* Состояние лесных фитоценозов склоновых земель Краснодарского края..... 55
- Phan Trong Huan, Nguyen Thi Lan.* A Study of Mangrove Forests in the Khanh Hoa Province of Vietnam..... 64
- О.Л. Цандекова, В.И. Уфимцев.* Формирование подстилки пойменных лесных биогеоценозов с участием *Acer negundo* L. .... 73

## ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

- И.Р. Шегельман, П.В. Будник.* Особенности оценки расчетной рейсовой нагрузки на antecedentной стадии проектирования бесчokerной трелевочной системы на основе машинного эксперимента..... 82
- С.Н. Орловский.* Методика расчета рабочего органа машины для послыйного фрезерования лесных почв..... 97

## МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

- И.В. Яцун, А.Г. Гороховский, С.А. Одинцева.* Исследование физико-механических и рентгенозащитных свойств древокомпозиционного слоистого материала «Фанотрен Б»..... 110
- С.П. Агеев, А.Н. Минаев, С.И. Рощина.* Вероятностный анализ взаимосвязей показателей режима работы лесопильных рам..... 121

## ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

- М.Ю. Микулинцева, Д.А. Пономарев, А.Н. Грачев, С.А. Покрышкин, Д.С. Косяков.* Химический состав фенольной фракции смолы абляционного пиролиза древесины..... 132

- Д.Ю. Арсеньева, Я.В. Казаков, Е.О. Окулова, А.Ю. Лагунов.* Закономерности процесса пероксидно-ацетатной делигнификации недревесного целлюлозосодержащего сырья в присутствии сернокислотного катализатора 143

*КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ*

- А.А. Карпов.* Сокращение площади малонарушенных лесных территорий на примере Двинско-Пинежского междуречья..... 152
- Н.Р. Сунгурова, В.В. Худяков, С.Е. Страздаускас.* Сравнительная структура углеродного пула в наземной фитомассе культур сосны и ели..... 159

*КОНФЕРЕНЦИИ И СОВЕЩАНИЯ*

- В.С. Шалаев, В.К. Тепляков.* Навстречу XXV Всемирному конгрессу ИЮФРО-2019..... 166

*КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ*

- С.Н. Тарханов, В.А. Харитонов, А.Н. Пеккоев.* Введение в экологию хвойных лесных культур..... 172
-



## CONTENTS

## FORESTRY

V.V. Ivanov, A.N. Borisov, A.E. Petrenko. Influence of Stand Density on Crown Formation and Growth along the Diameter of Scots Pine ( <i>Pinus sylvestris</i> L.).....	9
A.K. Mukhin. Long-Term Dynamics of Waterlogging Pine Forests under the Reservoir Influence.....	17
E.A. Vedernikov, S.V. Zalesov, E.S. Zalesova, A.G. Magasumova, O.V. Tolkach. Provision with Undergrowth of Mature and Overripe Dark Coniferous Stands in Perm Krai.....	32
V.P. Ivanov, S.I. Marchenko, D.I. Nartov. Fire Prevention Measures for Forest Sites...	43
N.V. Primakov. Condition of the Slope Land Forest Phytocenosis in Krasnodar Krai...	55
Phan Trong Huan, Nguyen Thi Lan. A Study of Mangrove Forests in the Khanh Hoa Province of Vietnam.....	64
O.L. Tsandekova, V.I. Ufimtsev. Formation of Floodplain Forest Biogeocenosis Litter with the Participation of <i>Acer negundo</i> L. ....	73

## WOOD EXPLOITATION

I.R. Shegelman, P.V. Budnik. Features of Calculated Truck Load Estimation at Antecedent Design Stage of Chokerless Skidding System Based on Computer Experiment.....	82
S.N. Orlovskiy. Calculation Procedure of Machine Working Body Parameters for Rotary Cultivation of Forest Soils Layer by Layer.....	97

## MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOOD SCIENCE

I.V. Yatsun, A.G. Gorokhovskiy, S.A. Odintseva. Study of Physical and Mechanical and X-Ray Protection Properties of Wood-Based Composite Laminated Material “Fanotren B”.....	110
S.P. Ageev, A.N. Minaev, S.I. Roshchina. Probability Analysis of Relations between Operation Mode Parameters of Saw Frames.....	121

## CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD

M.Yu. Mikulintseva, D.A. Ponomarev, A.N. Grachev, S.A. Pokryshkin, D.S. Kosyakov. Chemical Composition of Phenolic Fraction of Wood Ablative Pyrolysis Resin....	132
D.Yu. Arsenyeva, Ya.V. Kazakov, E.O. Okulova, A.Yu. Lagunov. Peroxide-Acetate Delignification Patterns of Non-Wood Raw Material Containing Cellulose in the Presence of Sulfuric Catalyst.....	143

*BRIEF SUMMARIES*

- A.A. Karpov.* Area Reduction of Intact Forest Landscapes on the Example of the Dvina-Pinega Interfluve..... 152
- N.R. Sungurova, V.V. Khudyakov, S.E. Strazdauskas.* Comparative Carbon Pool Structure in Above-Ground Phytomass of Pine and Spruce Crops..... 159

*CONFERENCES AND MEETINGS*

- V.S. Shalaev, V.K. Teplyakov.* Towards the XXV IUFRO World Congress..... 166

*CRITIQUE AND BIBLIOGRAPHY*

- S.N. Tarkhanov, V.A. Kharitonov, A.N. Pekkoev.* Introduction to the Ecology of Coniferous Forest Crops..... 172
-



УДК 630\*181.62:630\*531

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.9

## ВЛИЯНИЕ ГУСТОТЫ ДРЕВОСТОЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ КРОНЫ И РОСТ ПО ДИАМЕТРУ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS* L.)\*

*В.В. Иванов, канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр.; ORCID: 0000-0003-0799-0716*

*А.Н. Борисов, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.; ORCID: 0000-0002-7837-5043*

*А.Е. Петренко, канд. биол. наук, науч. сотр.; ORCID: 0000-0003-3444-5297*

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр СО РАН», Академгородок, 50, стр. 28, г. Красноярск, Россия, 660036; e-mail: viktor\_ivanov@ksc.krasn.ru, alnik\_borisov@mail.ru, alcorsci@bk.ru

Размер короны определяет, каким образом формируется жизненное пространство дерева, его рост и развитие. Объектом исследования является средневозрастное насаждение соснового бора, территориально входящего в Красноярскую островную лесостепь. На постоянной пробной площади, заложенной в лесотаксационном выделе сосняка зеленомошного I класса бонитета (площадь – 0,15 га, число деревьев – более 300 шт.), выполнено картирование деревьев, проведены сплошной пересчет и нумерация деревьев. Крупномасштабная съемка пробной площади была осуществлена с помощью беспилотного летательного аппарата и обеспечила разрешение на местности 25 см. Идентификация пробной площади на снимке и совмещение с ним данных наземного картирования выполнено в программе ArcMap. В этой же программе методами GIS-технологий оцифрованы кроны деревьев и вычислены площади их проекций. Анализ показал хорошее соответствие контуров и площадей проекций крон на снимках натурным данным. В качестве оценки доступного ресурса для дерева в условиях конкуренции в древостое использовалась площадь области доминирования. Установлено, что при площади области доминирования менее 6 м<sup>2</sup> формируются кроны редкой и средней густоты, имеющие площадь проекции 2...6 м<sup>2</sup>, от 6 до 12 м<sup>2</sup> – густая крона с площадью проекции до 10 м<sup>2</sup> и протяженностью более 40 % от высоты дерева. Изучена динамика радиального прироста деревьев после рубки в возрасте 37 лет в зависимости от увеличения площади области доминирования. В течение 4 лет после рубки годичный прирост по диаметру возрастает до 2 раз с повышением величины доступного ресурса. Регрессионный анализ показал наличие тесной связи между площадью проекции крон и площадью области доминирования с коэффициентом корреляции R = 0,84. Использование беспилотного летательного аппарата является перспективным, малозатратным и эффективным методом дистанционного изучения структуры древостоев. Камеральная обработка фотосъемки позволяет получать характеристики площадей проекции крон. Эти данные могут быть применены при назначении рубок ухода и формировании древесного полога одновозрастных сосновых древостоев, обеспечивающих максимальное использование почвенно-светового ресурса и эффективное выполнение экологических функций лесов.

\* Авторы выражают благодарность А.В. Рубцову за предоставленное аэрофотоизображение лесного участка.

**Для цитирования:** Иванов В.В., Борисов А.Н., Петренко А.Е. Влияние густоты древостоя на формирование кроны и рост по диаметру сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) // Лесн. журн. 2019. № 3. С. 9–16. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.9

**Финансирование:** Работа выполнена в рамках фундаментальных научных исследований по программам РАН № 0356-2016-0706. Номер госрегистрации (ЦИТИС) № АААА-А17-117101940014-9 «Теоретические основы сохранения экологического и ресурсного потенциала лесов Сибири в условиях возрастающего антропогенного пресса и климатических аномалий».

**Ключевые слова:** площадь проекции кроны, древесный полог, древостой, доступный ресурс, продуктивность, радиальный прирост.

### *Введение*

Дерево для своей жизни и роста самостоятельно образует корни, ствол, крону и другие компоненты и формирует условия, обеспечивающие максимальное использование ресурсов места произрастания. И.В. Таран [10], анализируя сведения о максимальной продуктивности сосновых лесов Западной Сибири, приходит к выводу, что биологический потенциал продуктивности сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) используется в среднем только на 20 %. При оптимальном сочетании почвенно-светового ресурса можно значительно повысить продуктивность сосняков.

В научной литературе [11, 12] приводятся данные о форме вертикальной и горизонтальной проекций крон, их изменениях в зависимости от таксационных характеристик древостоев. Размер кроны значительно коррелирует с ростом отдельных структур дерева и биомассы в целом [15]. Применение дистанционных методов обеспечивает более детальное исследование полога древостоев. Проблемы изучения горизонтальной и вертикальной структуры, сомкнутости крон и полога древостоя нашли отражение в многочисленных публикациях [1, 3, 6, 7, 9, 14].

В лесохозяйственной практике оценка размера кроны считается жизненно важной, поскольку она связана со многими показателями (объемом ствола, эффективностью прироста, жизненным состоянием деревьев и др.), которые изучены недостаточно. Это обусловлено во многом трудоемкостью определения этих характеристик с помощью традиционных наземных методов.

Цель данной работы – изучение горизонтальной структуры соснового древостоя и проекции крон деревьев на основе данных наземного картирования и аэрофотосъемки с помощью беспилотного летательного аппарата (БПЛА).

### *Объекты и методы исследования*

Объектом исследований является сосновое насаждение экспериментального хозяйства Института леса СО РАН «Погорельский бор», территориально входящего в Красноярскую островную лесостепь. Чистое по составу средневозрастное сосновое насаждение сформировано на вырубке 1965 г. Постоянная пробная площадь (ПП) заложена в лесотаксационном выделе сосняка зеленомошного I класса бонитета. Площадь ПП – 0,15 га с числом деревьев более 300 шт., что обеспечило репрезентативность результатов. На ПП выполнено наземное картирование деревьев с точностью  $\pm 10$  см, проведены сплошной пересчет и нумерация деревьев. К 37-летнему возрасту насаждение обладало высокими полнотой и густотой и характеризовалось значительной дифференциацией деревьев по диаметру. В возрасте 37 лет были проведены

рубки ухода по низовому методу интенсивностью около 45 % по числу стволов. Основные таксационные характеристики ПП приведены в таблице.

Основные таксационные показатели древостоя на ПП

Возраст, лет	Состояние	Густота, шт./га	Средний диаметр, см	Средняя высота, м	Сумма площадей сечения, м <sup>2</sup> /га	Полнота	Запас, м <sup>3</sup> /га
37	До рубки	5460	11,8	16,7	45,2	1,3	370
	После рубки	2727	13,9	18,0	36,9	1,0	320
51	Через 14 лет после рубки	2420	15,8	19,0	47,4	1,3	430

В ходе исследования была выполнена крупномасштабная съемка 51-летнего соснового древостоя с помощью квадрокоптера DJI Phantom 3 Pro с высоты 150 м, что позволило получить центральную проекцию, избежать искажений в виде так называемого развала деревьев на краях исследуемого участка и обеспечило разрешение на местности около 25 см. Идентификация ПП на снимке и совмещение данных наземного картирования со снимком выполнено в программе ArcMap. В этой же программе методами GIS-технологий были околтурены кроны всех деревьев и вычислены площади их проекций. Проведено сравнение точности оценок площадей проекций крон, полученных по натурным измерениям, с данными камеральной обработки по снимкам. С этой целью для 25 деревьев в 8 азимутальных направлениях замерялись радиусы крон и вычислялись площади их проекций.

Густота кроны для каждого дерева определялась с использованием методических положений Л.Ф. Правдина [8]: 1 – густая, скелетные ветви просматриваются на 10...20 %; 2 – средняя, скелетные ветви просматриваются на 50 %; 3 – редкая (ажурная), видны все скелетные ветви. Высота дерева и протяженность кроны измерялись лазерным высотомером-дальномером TruPulse 200.

Доступный ресурс для каждого дерева оценивался методом областей доминирования (ОД). Под ресурсом здесь понимаются факторы, образующие экологическую нишу вида, которые обеспечивают его жизнедеятельность. В предложенном подходе ОД – это та область, в которой особь оказывает на среду обитания доминирующее влияние в пространственном освоении ресурса в предположении, что это влияние прямо пропорционально размеру особи и обратно пропорционально квадрату расстояния от нее до точки влияния [2, 4]. Степень этого влияния на ресурсы оценивается как

$$\begin{cases} E = \frac{k}{P(x, y)} \frac{G}{((x-x_0)^2 + (y-y_0)^2)}, & E \geq E_0; \\ E = 0, & E < E_0, \end{cases} \quad (1)$$

где  $k$  – размерный коэффициент;  $P(x, y)$  – показатель ресурсного потенциала для изучаемого объекта в точке с координатами  $(x, y)$ ;  $G$  – площадь поперечного сечения дерева;  $x_0, y_0$  – координаты расположения особи;  $E_0$  – пороговое значение, такое, что при  $E < E_0$  влияние особи в данной точке можно не учитывать.

Таким образом,  $E$  – безразмерная относительная величина, поэтому в (1) можно положить  $k = 1$ . Областью доминирования дерева является область, в которой для каждой точки  $E(x, y)$  больше рассчитанной для его ближайших соседей. Площадь ОД ( $S_{ОД}$ ) используется в качестве оценки доступного для дерева ресурса.

Статистический анализ данных выполнен с использованием программ Excel и Statistica.

*Результаты исследования и их обсуждение*

Индивидуальные характеристики деревьев в древостое в основном определяются распределением доступного ресурса между конкурирующими за него особями. Кроны в процессе роста дерева более гибко (по сравнению со стволом) реагируют на эндогенные и экзогенные факторы. Поэтому после рубки ухода можно ожидать изменение в форме и площади проекции кроны как следствие улучшения доступного ресурса и условий роста.

На ПП до 37-летнего возраста не проводилось рубок, и древостой формировался в отсутствие внешних воздействий. Однако вследствие отпада деревьев, ветровала или рубки происходит перераспределение доступного ресурса и уже на следующий год наблюдается увеличение годичного радиального прироста. Размер кроны определяет, как формируется жизненное пространство дерева, которое связано с наличием всех необходимых ресурсов для его роста [13].

На исследуемом участке через 14 лет после рубки ухода измерены площади проективного покрытия кроны  $S_{кр}$ . Рассчитанная по этим данным сомкнутость полога на ПП составила 0,68. Кроме того, для 25 деревьев выполнены натурные измерения характеристик кроны, включая измерение радиусов кроны по 8 азимутальным направлениям. Проведенный анализ показал хорошее соответствие контуров и площадей проекций кроны на снимках натурным данным. Среднее расхождение по площади для этих двух методов –  $(0,52 \pm 0,21) \text{ м}^2$ . Следует отметить, что в случаях большой изрезанности формы кроны оконтуривание по снимкам дает лучшие результаты, так как при натуральных измерениях радиусов кроны в 8 направлениях зачастую происходит сглаживание их реальных контуров.

Фрагмент ПП, приведенный на рис. 1, дает наглядное представление о размещении деревьев на участке и крон относительно положения стволов и границ ОД.

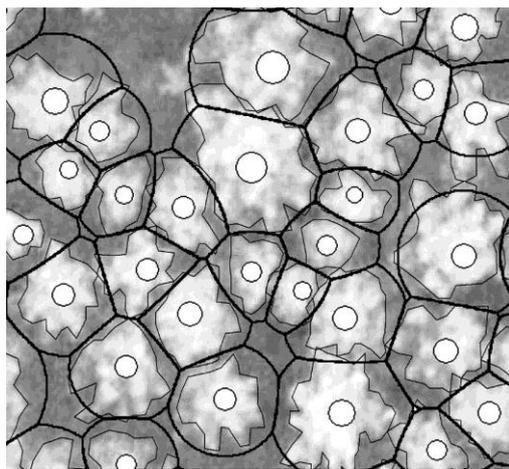


Рис. 1. Фрагмент ПП с контурами кроны и областей доминирования (белые круги – положение стволов деревьев; жирные линии – области доминирования)

Fig. 1. Trial plot fragment with contours of crowns and dominance areas (white circles – position of tree trunks; thick lines – dominance areas)

Регрессионный анализ показал наличие тесной связи между  $S_{кр}$  и  $S_{ОД}$ , описываемой следующим уравнением:

$$S_{кр} = 0,655 + 0,345S_{ОД} \quad \text{при } R = 0,84, \quad (2)$$

где  $R$  – коэффициент корреляции (рис. 2).

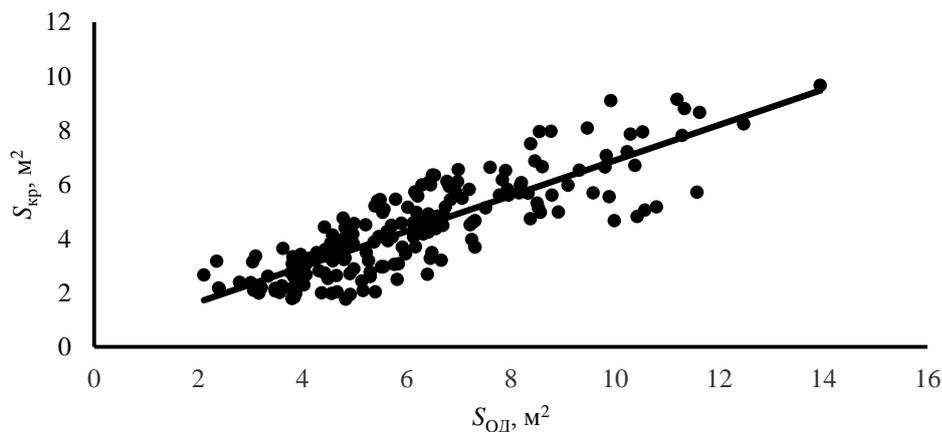


Рис. 2. Зависимость площади проективного покрытия кроны  $S_{кр}$  от площади областей доминирования  $S_{од}$  в 51-летнем сосновом древостое

Fig. 2. Dependence of crown projection area ( $S_{кр}$ ) on dominance area ( $S_{од}$ ) in 51-year-old pine stand

В условиях малой величины доступного ресурса ( $S_{од} < 6 \text{ м}^2$ ) формируются кроны средней и редкой густоты с площадью проекции  $2 \dots 6 \text{ м}^2$ . Относительная протяженность крон у таких деревьев  $\leq 30 \%$  их высоты. У деревьев при  $S_{од} = 6 \dots 12 \text{ м}^2$  формируется густая крона с площадью проекции до  $10 \text{ м}^2$  и протяженностью  $\geq 30 \%$  их высоты.

В.Г. Атрохин и И.К. Иевинь [1] установили, что загущенное насаждение после выборки 34 % деревьев показывает наибольшее усвоение диоксида углерода, а увеличение активно продуцирующей части кроны приводит к повышению продуктивности древесной массы в насаждении. По данным В.Н. Коновалова [5], крупномерные деревья, занимая лидирующее положение в пологе древостоя, отличаются более высокой физиологической активностью. В результате несплошной рубки высокой интенсивности фотосинтез у них возрастает на 30 %, а транспирация – на 20 %. Через 14 лет они на 28 % увеличивают массу стволовой древесины.

Диаметр ствола в каждом конкретном возрасте является результатом кумулятивного эффекта роста дерева под воздействием эндогенных и экзогенных факторов. При отсутствии экзогенного воздействия в древостое существует зависимость между диаметром ствола на высоте груди  $d_{1,3}$  и  $S_{од}$ , которая в 37-летнем возрасте до проведения рубки имеет следующий вид:

$$d_{1,3} = 5,63 + 1,94S_{од} \text{ при } R = 0,89. \quad (3)$$

В этом возрасте наблюдалась большая дифференциация деревьев по диаметру ствола, среднее значение  $S_{од} = 1,65$  при относительном отклонении  $0,96 \text{ м}^2$ .

Рост по диаметру изучается обычно по данным периодических обмеров на постоянных ПП. Другой подход применяется в случае невозможности постоянных наблюдений и основан на анализе годичных приростов по кернам. Динамика радиального ежегодного прироста на ПП была изучена по кернам 250 деревьев. В результате рубки древостоя в возрасте 37 лет произошло перераспределение доступного ресурса, что привело к увеличению радиального прироста начиная со второго года после рубки. Анализ динамики радиального прироста деревьев в зависимости от возрастания площади области доминирования ( $dS$ ) в результате рубки показал, что в группе, где  $dS \geq 1,5 \text{ м}^2$ , радиальный прирост увеличился от

0,9 до 1,7 мм/год; для деревьев, у которых  $1,5 > dS > 0,5 \text{ м}^2$ , – от 0,7 до 1,3 мм/год; в группе с  $dS \leq 0,5 \text{ м}^2$  – только от 0,6 до 0,9 мм/год.

Таким образом, в разреженных рубками ухода средневозрастных сосновых древостоях деревья более эффективно используют доступный ресурс, формируют хорошо развитую крону и имеют устойчивый рост по диаметру. Выращивание высокопродуктивных деревьев обеспечит формирование структуры древостоя, соответствующей целевому назначению сосновых насаждений.

#### Заключение

Средообразующие, защитные и рекреационные функции лесов тесно связаны с характеристиками древесного полога. Проведенные исследования позволили установить наличие тесной связи величины доступного ресурса, а соответственно и густоты древостоя, с площадью проекции крон деревьев в средневозрастных сосновых древостоях. В условиях малой величины доступного ресурса (при  $S_{\text{од}} \leq 6 \text{ м}^2$ ) формируются кроны редкой и средней густоты с площадью проекции 2...6  $\text{м}^2$ . Протяженность крон у таких деревьев составляет менее 30 % высоты дерева, у деревьев с  $S_{\text{од}} = 6...12 \text{ м}^2$  формируется густая крона с площадью проекции до 10  $\text{м}^2$  и протяженностью более 30 % высоты дерева.

Упрощенные натурные методы измерения диаметра кроны дают значительные ошибки при оценке площади проекции крон. Использование современных беспилотных летательных аппаратов служит альтернативой наземным обследованиям, что позволяет существенно снизить трудоемкость полевых работ и получить благодаря высокому разрешению достаточную точность измерений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атрохин В.Г., Иевинь И.К. Рубки ухода и промежуточное лесопользование. М.: Агропромиздат, 1985. 254 с.
2. Борисов А.Н. Метод оценки распределения ресурса между деревьями в древостое // Состояние лесов и актуальные проблемы лесопользования: материалы Всерос. конф. с междунар. участием, г. Хабаровск, 10–11 окт. 2013 г. Хабаровск: Изд-во ДальНИИЛХ, 2013. С. 293–296.
3. Вайс А.А. Форма крон деревьев сосны обыкновенной (*Pinus silvestris* L.) в чистых высокогустотных насаждениях Минусинской котловины Красноярского края // Хвойные бореальной зоны. 2017. Т. XXXV, № 3–4. С. 14–20.
4. Иванов В.В., Борисов А.Н., Петренко А.Е., Семякин Д.А., Собачкин Д.С., Собачкин Р.С. Густота сосновых древостоев при интенсивном лесовыращивании // Сибир. лесн. журн. 2017. № 6. С. 102–109. DOI:10.15372/SJFS20170608
5. Коновалов В.Н. Особенности физиологических процессов у сосны и ели при сплошных и выборочных рубках // Вестн. Помор. ун-та. Сер.: Естеств. науки. 2011. № 2. С. 53–60.
6. Кузмичев В.В. Закономерности динамики древостоев: принципы и модели. Новосибирск: Наука, 2013. 208 с.
7. Нагимов З.Я., Сальникова И.С. Строение крон деревьев сосны // Леса Урала и хозяйство в них. Екатеринбург: УГЛТУ, 2004. Вып. 24. С. 161–169.
8. Правдин Л.Ф. Сосна обыкновенная. Изменчивость, внутривидовая систематика и селекция. М.: Наука, 1964. 189 с.
9. Сальникова И.С. Структура и динамика фитомассы древесного полога в сосняках Среднего Урала: дис. ... канд. с.-х. наук. Екатеринбург, 2005. 296 с.
10. Таран И.В. Сосновые леса Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 1973. 292 с.
11. Coonen E.J., Sillett S.C. Separating Effects of Crown Structure and Competition for Light on Trunk Growth of *Sequoia sempervirens* // Forest Ecology and Management. 2015. Vol. 358. Pp. 26–40. DOI: 10.1016/j.foreco.2015.08.035

12. Fisher A., Scarth P., Armston J., Danaher T. Relating Foliage and Crown Projective Cover in Australian Tree Stands // *Agricultural and Forest Meteorology*. 2018. Vol. 259. Pp. 39–47. DOI: 10.1016/j.agrformet.2018.04.016

13. O'Hara K.L. Stand Structure and Growing Space Efficiency Following Thinning in an Even-Aged Douglas-Fir Stand // *Canadian Journal of Forest Research*. 1988. Vol. 18, no. 7. Pp. 859–866. DOI: 10.1139/x88-132

14. Raptis D., Kazana V., Kazaklis A., Stamatiou Ch. A Crown Width-Diameter Model for Natural Even-Aged Black Pine Forest Management // *Forests*. 2018. Vol. 9, iss. 10, article no. 610. 19 p. DOI: 10.3390/f9100610

15. Sharma R.P., Bílek L., Vacek Z., Vacek S. Modelling Crown Width-Diameter Relationship for Scots Pine in the Central Europe // *Trees*. 2017. Vol. 31, iss. 6. Pp. 1875–1889. DOI: 10.1007/s00468-017-1593-8

Поступила 20.01.19

UDC 630\*181.62:630\*531

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.9

### **Influence of Stand Density on Crown Formation and Growth along the Diameter of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.)**

**V.V. Ivanov**, Candidate of Agriculture, Senior Research Scientist;  
ORCID: [0000-0003-0799-0716](https://orcid.org/0000-0003-0799-0716)

**A.N. Borisov**, Candidate of Engineering, Senior Research Scientist;  
ORCID: [0000-0002-7837-5043](https://orcid.org/0000-0002-7837-5043)

**A.E. Petrenko**, Candidate of Biology, Research Scientist; ORCID: [0000-0003-3444-5297](https://orcid.org/0000-0003-3444-5297)

V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Federal Research Center “Krasnoyarsk Science Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences”, Akademgorodok, 50, stroyeniye 28, Krasnoyarsk, 660036, Russian Federation;  
e-mail: viktor\_ivanov@ksc.krasn.ru, alnik\_borisov@mail.ru, alcorsci@bk.ru

Crown size determines tree's life space formation, its growth and development. The research object was a middle-aged pine stand spatially included in the Krasnoyarsk island forest-steppe. The permanent trial plot of 0.15 ha size with over 300 trees was established in high-yield green moss pine forest. Each tree on the plot was mapped and assigned with an individual number; its diameter at breast height was measured. A large-scale survey of the trial plot with resolution of 25 cm was acquired using the unmanned aerial vehicle (UAV). The trial plot identification on the image and its matching with the land-based mapping data were performed in ArcMap. In this program crowns of all trees are outlined and areas of their projections are calculated using GIS-technology methods. The data analysis showed a close correlation between crown projection contours and areas and the field data. Dominance area ( $S_{ОД}$ ) was used as an available resource valuation for a tree in the competition conditions in a forest stand. Dominance area is defined as an area, where each individual tree has dominating influence in space around it and obtains light and soil resource in assumption that this influence is directly proportional to sample size and inverse to squared distance to it. It was found that crowns of rare and medium density with projection area ( $S_{кр}$ ) of 2...6 m<sup>2</sup> are formed in case of a low dominance area (less than 6 m<sup>2</sup>). Crowns with  $S_{ОД}$  of 6...12 m<sup>2</sup> have high density and projection area up to 10 m<sup>2</sup> and length more than 40 % of tree height. The dynamics of tree radial increment after thinning at the age of 37 was studied depending on the dominance area increase. During 4 years after thinning, annual radial increment increases up to 2 times with increase of available resource. Regression analysis has shown strong correlation between crown projection area and dominance area with a correlation coefficient  $R = 0.84$ . Use of UAV is a promising, low-cost and effective technique of distance studying the tree stand structure. Office analysis of images allows to obtain crown projection area characteristics. These data can be used in improvement thinning and forming of even-aged pine stand canopy, which provide the maximum use of light and soil resource and effective ecological forest functioning.

**For citation:** Ivanov V.V., Borisov A.N., Petrenko A.E. Influence of Stand Density on Crown Formation and Growth along the Diameter of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.). *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2019, no. 3, pp. 9–16. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.9

**Funding:** The research was carried out within the framework of fundamental scientific research programs of the Russian Academy of Sciences no. 0356-2016-0706. State Registration (TsITIS) no. AAAA-A17-117101940014-9 “Theoretical Foundations for the Ecological and Resource Potential Conservation of Siberian Forests in the Conditions of Increasing Anthropogenic Pressure and Climatic Anomalies”.

**Acknowledgements:** The authors are grateful to Rubtsov A.V. for the provided aerial photographic image of the forest site.

**Keywords:** crown projection area, tree canopy, tree stand, available resource, productivity, radial increment.

#### REFERENCES

1. Atrokhin V.G., Ievin' I.K. *Improvement Thinning and Intermediate Forest Management*. Moscow, Agropromizdat Publ., 1985. 254 p.
2. Borisov A.N. The Method of an Estimation of Sharing of a Resource between Trees in a Forest Stand. *State of the Forests, Actual Problems of Forestry and Forest Management: Materials of International Conference, October 10–11, 2013, Khabarovsk*. Khabarovsk, DalNIILH Publ., 2013, pp. 293–296.
3. Vais A.A. Form of Tree Crowns Pine (*Pinus sylvestris* L.) in Pure Plantations High Dense Minusinsk Basin of the Krasnoyarsk Region. *Khvoynnye boreal'noy zony* [Conifers of the Boreal Area], 2017, vol. XXXV, no. 3–4, pp. 14–20.
4. Ivanov V.V., Borisov A.N., Petrenko A.E., Semenyakin D.A., Sobachkin D.S., Sobachkin R.S. The Density of Pine Stands under Intensive Forest Growing. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* [Siberian Journal of Forest Science], 2017, no. 6, pp. 102–109. DOI:10.15372/SJFS20170608
5. Konovalov V.N. Physiological Peculiarities in Pine and Spruce in Clean and Selective Felling]. *Vestnik Pomorskogo universiteta. Seriya: Estestvennyye nauki*, 2011, no. 2, pp. 53–60.
6. Kuzmichev V.V. *Dynamics Regularities of Forest Stands: Principles and Models*. Novosibirsk, Nauka Publ., 2013. 208 p.
7. Nagimov V.Z., Sal'nikova I.S. Crown Structure of Pine Trees. *Lesnaya Urala i khozyaystvo v nikh*, 2004, vol. 24, pp. 161–169.
8. Pravdin L.F. *Scots Pine. Variability, Intraspecific Systematics and Selection*. Moscow, Nauka Publ., 1964. 189 p.
9. Sal'nikova I.S. *Structure and Dynamics of Tree Canopy Phytomass in Pine Forests of Middle Ural*: Cand. Agric. Sci. Diss. Ekaterinburg, 2005. 296 p.
10. Taran I.V. *Pine Forests of Western Siberia*. Novosibirsk, Nauka Publ., 1973. 292 p.
11. Coonen E.J., Sillett S.C. Separating Effects of Crown Structure and Competition for Light on Trunk Growth of *Sequoia sempervirens*. *Forest Ecology and Management*, 2015, vol. 358, pp. 26–40. DOI: 10.1016/j.foreco.2015.08.035
12. Fisher A., Scarth P., Armston J., Danaher T. Relating Foliage and Crown Projective Cover in Australian Tree Stands. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2018, vol. 259, pp. 39–47. DOI: 10.1016/j.agrformet.2018.04.016
13. O'Hara K.L. Stand Structure and Growing Space Efficiency Following Thinning in an Even-Aged Douglas-Fir Stand. *Canadian Journal of Forest Research*, 1988, vol. 18, no. 7, pp. 859–866. DOI: 10.1139/x88-132
14. Raptis D., Kazana V., Kazaklis A., Stamatou Ch. A Crown Width-Diameter Model for Natural Even-Aged Black Pine Forest Management. *Forests*, 2018. vol. 9, iss. 10, article no. 610. 19 p. DOI: 10.3390/f9100610
15. Sharma R.P., Bílek L., Vacek Z., Vacek S. Modelling Crown Width-Diameter Relationship for Scots Pine in the Central Europe. *Trees*, 2017, vol. 31, iss. 6, pp. 1875–1889. DOI: 10.1007/s00468-017-1593-8

Received on January 20, 2019

УДК 630\*187

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.17

## МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ЗАБОЛАЧИВАЮЩИХСЯ СОСНЯКОВ В УСЛОВИЯХ ВЛИЯНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩА

*А.К. Мухин, науч. сотр.; ResearcherID: G-8006-2019, ORCID: 0000-0002-5269-1566*

Дарвинский государственный природный биосферный заповедник, д. 44, дер. Борок, Череповецкий р-н, Вологодская обл., Россия, 162723; e-mail: akm.ru@yandex.ru

Изложены результаты изучения многолетней динамики лесов Дарвинского государственного природного биосферного заповедника, оказавшихся вследствие влияния Рыбинского водохранилища в измененных условиях природной среды. Многолетнее влияние водохранилища существенно изменило экологию прибрежных территорий, что вызвало необходимость изучения состояния прибрежных лесов. Исследования их динамики строились на принципах динамической типологии, проверенной И.С. Мелеховым при изучении ранних этапов жизни антропогенных лесов. Полученные нами данные для спелых и перестойных лесов вносят существенные изменения в понятие устойчивости типа леса в стадии спелого древостоя или сформировавшегося типа леса. Изучаемые леса не сохраняют свою однотипность даже на протяжении одного поколения. Объектом настоящего исследования стал тип леса сосняк ягодно-зеленомошный заболачивающийся, произрастающий в зоне косвенного влияния водохранилища. В целях изучения направления и скорости процессов роста и развития проведены подробное описание и анализ разных компонентов изучаемого типа леса. Основное внимание уделялось изменениям живого напочвенного покрова, как индикатора почвенно-гидрологических условий, древостоя, подроста и подлеска. На основании анализа данных, полученных за 70-летний период, по динамике разных компонентов сосняка ягодно-зеленомошного заболачивающегося на начальной стадии сделаны выводы о направлении и скорости изменений в почвах, их гидрологическом режиме, в фитоценозе. С позиций динамической типологии изучаемый тип леса необходимо рассматривать как этап относительно ускоренного формирования нового типа леса сосняка-черничника зеленомошно-сфагнового на средней стадии заболачивания с четко выраженной тенденцией смены сосны елью в новом поколении. Данные выводы подтверждают положение динамической типологии И.С. Мелехова и имеют важное значение как для лесной науки и практики, так и при проведении мониторинговых исследований в заповеднике.

**Для цитирования:** Мухин А.К. Многолетняя динамика заболачивающихся сосняков в условиях влияния водохранилища // Лесн. журн. 2019. № 3. С. 17–31. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.17

**Ключевые слова:** влияние водохранилища, динамическая типология леса, тип-этап, заболачивание леса, сосняк.

### *Введение*

Растительность Дарвинского заповедника, расположенного в северо-западной части Рыбинского водохранилища, характеризуется преобладанием заболоченных сфагновых сосняков и верховых болот. На долю суходольных лесов, в основном зеленомошных сосняков, приходится менее 20 % покрытой лесом площади.

Заболачивание зеленомошных типов лесов в изучаемом районе – это многовековой естественный процесс, зависящий от природно-климатических условий. До создания водохранилища скорость заболачивания лесов была незначительной и составляла около 1 % территории за 100 лет [2]. После сооружения водохранилища, проектный уровень которого (102,0 м (абс.)) был

достигнут в 1947 г., скорость наступления сфагновых болот на суходолы ускорилась как минимум на порядок.

Зеленомошные типы сосновых лесов растут по высоким берегам водохранилища, полого опускающимся к болоту, и на нешироких вытянутых участках – «гривах», высотная отметка которых на 0,5...1,0 м выше болот, последние в изучаемом районе являются водораздельной территорией. На процесс заболачивания зеленомошных типов лесов, граничащих с болотом, водохранилище оказывает опосредованное влияние через подпор естественных водотоков, по которым происходит сток избыточной влаги с болот. В периоды снеготаяния и обильных затяжных дождей пониженные участки между гривой и болотом испытывают значительное переувлажнение, в периоды высокого уровня водохранилища водотоки подпираются и не функционируют, вода в них не движется и длительное время стоит на поверхности в понижениях микрорельефа. Это вызывает подъем грунтовых вод и подтопление корневой системы деревьев, что активизирует весь комплекс процессов, связанных с заболачиванием почв, и как реакция на это в напочвенном покрове происходят существенные изменения. Как показывают ранее проведенные исследования, заболачивание зеленомошных типов лесов происходит очень быстро. Так, за короткие для жизни леса периоды (10–20 лет) в живом напочвенном покрове происходят очевидные изменения, выраженные вытеснением зеленых мхов сфагнумами [6–8].

Заболачивающиеся сосновые леса характеризуются разной степенью заболачивания зеленомошных типов леса. Физиономическим отличием группы заболачивающихся сосняков от зеленомошных является наличие в моховом покрове сфагнума, который служит надежным индикатором процесса. На начальной стадии заболачивания доля сфагнума в напочвенном покрове составляет до 30 %, на глубокой – до 90 %.

Среди заболачивающихся сосняков выделены типы, в напочвенном покрове которых отмечено обилие кукушкина льна. Однако такие леса в заповеднике встречаются редко, что объясняется преобладанием кислых пылеватопесчаных почв в этом районе.

Выводы, сделанные на основе многолетних исследований динамики лесов, произрастающих в условиях влияния водохранилища, важны как для прогноза последствий антропогенных воздействий и моделирования климатических изменений, так и для устойчивого лесопользования [12–15]. Это в полной мере соотносится с изучением закономерностей динамики лесов Дарвинского заповедника.

Цель исследования – изучение влияния водохранилища на фактические таксационные показатели древостоев, произрастающих в измененных условиях природной среды.

#### *Объекты и методы исследования*

Исследование проводилось на постоянной пробной площади (ППП) 22, заложенной и описанной в 1947 г. в сосняке ягодно-зеленомошном заболачивающемся. Стационар площадью 0,5 га расположен на пологом склоне невысокой (до 103,0 м (абс.)) гривы среди заболоченных сфагновых сосняков и удален от водохранилища на 0,5 км, находясь в зоне его косвенного влияния [1]. Почва описана в год заложения ППП и названа торфянисто-подзолисто-глеевой.

В связи с избыточной влажностью соседних участков (переходное и верховое болото), особенно в период обильных дождей, участок гривы испытывает переувлажнение. Однако особенности рельефа, выраженные соседством с долиной ручья и старой дренажной канавой, способствуют незначительному снижению переувлажнения ППП.

Необходимо отметить, что летом 1947 г. в районе расположения ППП произошел низовой пожар, который затронул значительную часть площади пробы. Поэтому были выделены два участка: без пирогенного воздействия (40 %) и пройденный низовым пожаром (60 %).

В период с 1947 по 2017 г. проводилось 8 пересчетов древостоя с интервалом 10–15 лет. По материалам пересчетов рассчитывались таксационные показатели древостоя согласно общепринятой методике. Далее полученные фактические таксационные показатели, характеризующие конкретный древостой, приводились к стандартной полноте (1,0) и сравнивались с аналогичными показателями из стандартных таблиц хода роста для соответствующего возраста и класса бонитета [9].

Для оценки роли водохранилища в изменении фактических таксационных показателей древостоя проводился расчет показателя комплекса факторов, связанных с влиянием водохранилища, по методике [6].

Описание нижних ярусов фитоценоза выполнено с использованием общепринятых методик [11]. При изучении напочвенного покрова определялся видовой состав, а также оценивались обилие видов по 6-балльной системе, соответствующей шкале Друде, и проективное покрытие фоновыми видами травяно-кустарничкового и мохового ярусов.

В названиях типов-этапов включались виды напочвенного покрова, имевшие проективное покрытие не менее 5 %, с указанием стадии заболоченности по степени проективного покрытия сфагновыми мхами в соответствии с принятой градацией: I стадия – от 5 до 30 %; II – до 50 %; III – до 70 %; IV – до 100 % [6]. Эта же градация применялась и в случае присутствия кукушкина льна в моховом покрове.

#### *Результаты исследования и их обсуждение*

Основной причиной происходящих изменений в изучаемых лесах является изменение гидрологического режима почв. Водоохранилище вызывает подъем уровня грунтовых вод (УГВ), и в этом исследователи едины. Однако их мнения расходятся при оценке расстояния от водохранилища, на которое данное явление распространяется [2].

Нами это вопрос изучен в ходе анализа многолетних данных по гидрологическому колодцу № 38, расположенному на ППП. Анализ проводился по трем годам, которые различаются гидрологическими и метеорологическими характеристиками:

1996 г. – самый низкий уровень водохранилища условно принят в качестве эталонного, имитирующего условия до создания водохранилища (за вегетационный период выпало 401 мм осадков (Н), средний за тот же период уровень водохранилища (УВ) составил 99,5 м (абс.));

2005 г. – засушливый (Н = 276 мм, УВ = 101,1 м (абс.));

2017 г. – влажный (Н = 414 мм, УВ = 101,8 м (абс.)).

Связь УГВ с УВ и количеством осадков во влажный и эталонный годы иллюстрирует рис. 1.

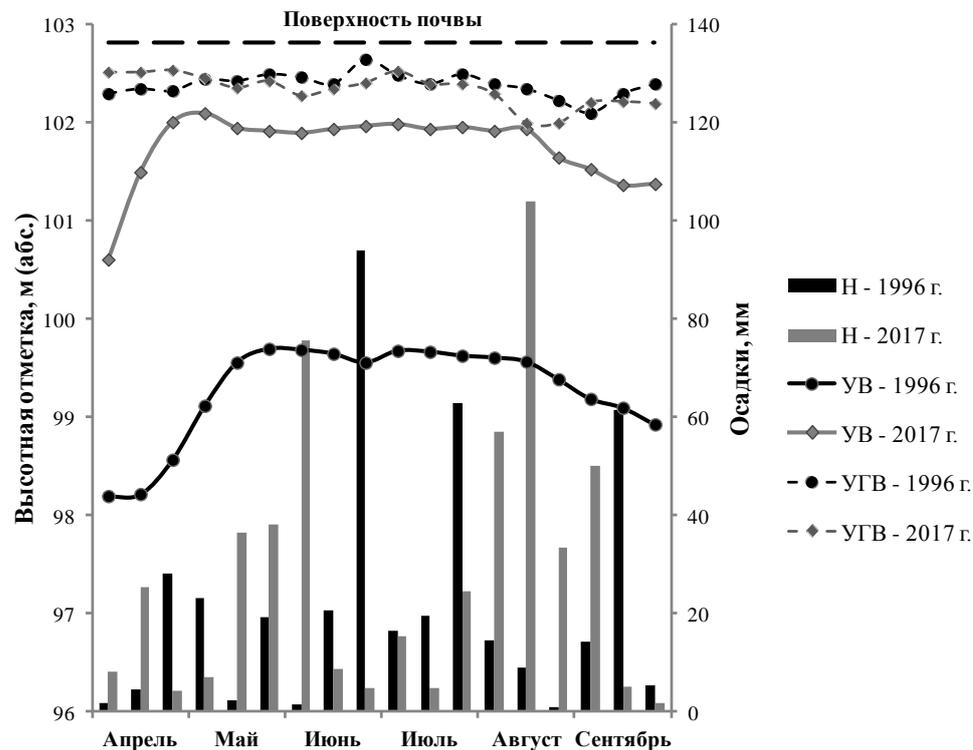


Рис. 1. Связь УГВ с УВ и количеством осадков во влажный и эталонный годы  
 Fig. 1. Correlation between groundwater level (УГВ) and reservoir level (УВ), precipitation (H) in wet and reference years

Прослеживается наличие связи УГВ с количеством осадков и отсутствие ее с колебаниями УВ. Учитываем то, что УВ в сравниваемые годы имели различие на 2,3 м, грунтовые воды (ГВ) на протяжении всего вегетационного периода держались на практически одинаковой глубине (0,3...0,8 м от поверхности), и видимые колебания их уровня связаны лишь с осадками.

На рис. 2 показана связь УГВ с УВ и количеством осадков в относительно засушливый и эталонный годы. Здесь также не наблюдается связи УГВ с УВ. В засушливый год УВ был выше, чем в эталонный, однако в июле-августе ГВ опустились до 1,2 м. Более глубокое залегание ГВ в засушливый год вызвано интенсивной транспирацией и испарением.

Анализируя изменения УГВ на исследуемом участке гряды, можно сделать вывод о наличии связи УГВ с количеством осадков и ее отсутствии с УВ в сравниваемые годы. Подтверждаются сделанные ранее выводы о том, что водохранилище не оказывает непосредственного влияния на динамику УГВ на территориях, удаленных от него [2, 5].

Почва при повторном описании, выполненном в 1960 г., названа торфянистой среднеподзолистой иллювиально-гумусовой среднеоглеенной пылевато-песчаной [10]. Основная масса корней отмечена в торфянистом и подзолистом горизонтах на глубине до 30 см, реже на глубине 50 см. В момент описания они залегали на глубине 170 см, что для данных условий произрастания бывает очень редко, в основном в засушливые периоды.

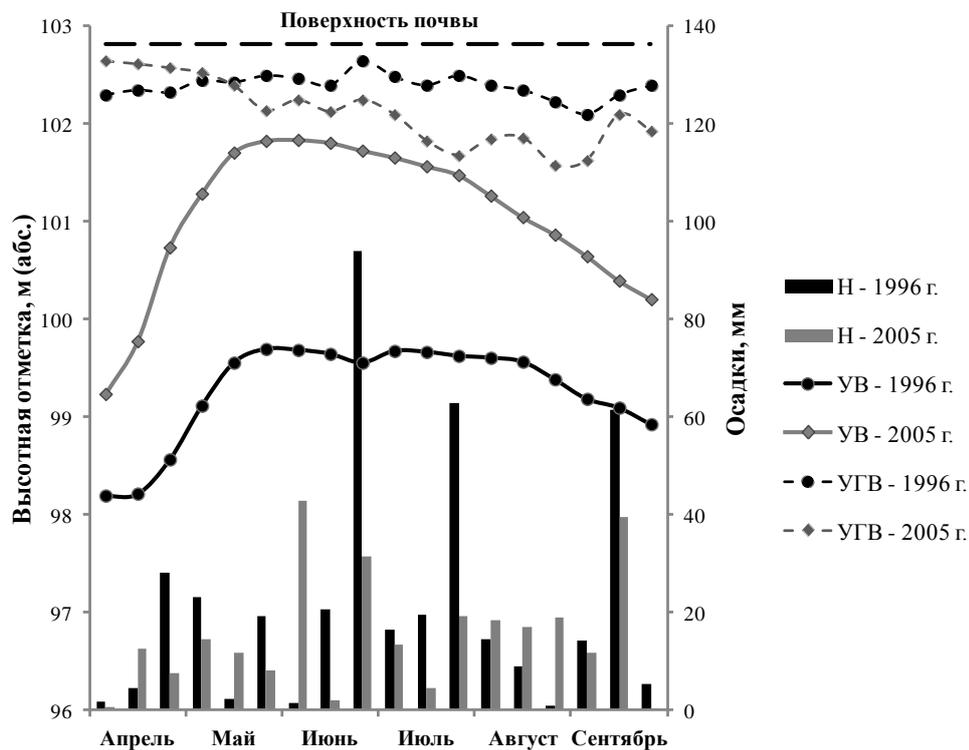


Рис. 2. Связь УГВ с УВ и количеством осадков в засушливый и эталонный годы

Fig. 2. Correlation between groundwater level (УГВ) and reservoir level (УВ), precipitation (Н) in dry and reference years

Обычно на протяжении всего вегетационного периода в зависимости от количества выпавших осадков ГВ держатся близко к поверхности (25...30 см), заполняя капилляры, и корневая система функционирует в напряженных гидрологических условиях, то отмирая при высоком УГВ, то регенерируя при его снижении.

Последнее описание почвы было выполнено в 1977 г. [3]. Почва названа гидроморфно-торфянистой среднеподзолистой иллювиально-гумусовой глеевой пылевато-песчаной. Это название несколько отличается от данных предыдущего описания, хотя почвенные разрезы делались на ППП вблизи старых разрезов. Отмечено увеличение в почве за 30-летний период мощности лесной подстилки (с 8 до 16 см) и оглеения нижних горизонтов. Переувлажнение почвы способствует подавлению микробиологической активности в нижнем слое подстилки и активизирует процесс торфонакопления. Усиление оглеения может быть связано с влажными (по сравнению с 1960 г., когда делалось предыдущее описание) условиями 1977 г. Процесс оглеения почвы довольно динамичен и даже в течение года может варьировать в связи с изменением положения ГВ.

Отмечается, что капиллярная кайма обычно достигает поверхности почвы в течение всего вегетационного периода, за исключением очень засушливых лет. В условиях затрудненного воздухообмена в почве развиваются анаэробные процессы, что повышает содержание закисного железа и снижает ее окислительно-восстановительный потенциал.

Динамику древесного яруса рассматриваемого типа леса охарактеризуем изменением основных таксационных показателей древостоя за 70-летний период.

По данным первого описания, выполненного в 1947 г., сосновый древостой был чистым с единичной примесью ели. В период наблюдений с 1947 по 2017 г. было выполнено 8 переучетов древостоя, его средние таксационные показатели за это время приведены в табл. 1.

Таблица 1

Динамика средних таксационных показателей древостоя на ППП 22

Год переучета	Состав	Средние *		Возраст, лет	Полнота	Бонитет	Количество деревьев, %		Запас, м <sup>3</sup> /га		
		диаметр, см	высота, м				здоровых	сухостойных	живых	сухостой	валежника
1947	10С ед. Е	20,6	22,4	74	1,04	I,6	98,0	2,3	402	9	0
1960	10С ед. Е	23,4	23,8	87	1,01	I,8	81,0	8,1	410	36	2
1971	10С ед. Е	24,6	24,3	98	1,00	II,1	87,5	10,6	410	49	28
1976	10С ед. Е	25,7	24,5	103	0,98	II,2	90,0	13,2	411	63	42
1981	10С ед. Е	26,5	24,9	108	0,96	II,2	88,8	13,0	409	61	65
1991	10С+Е	25,7	23,1	118	1,01	II,8	92,9	8,9	446	44	104
		28,4	26,4								
2001	10С+Е	25,0	21,7	128	0,94	III,4	91,3	15,4	415	76	116
		29,1	26,6								
2017	10С+Е	28,7	23,6	144	1,00	III,1	90,7	11,2	478	58	185
		32,1	27,4								

\* В числителе приведены данные для всего древостоя, в знаменателе – для его первого яруса.

Рассматривая динамику древостоя за исследуемый 70-летний период, отмечаем, что он, пройдя стадию спелости, достиг перестойного возраста, состав практически не изменился. Произошло существенное снижение бонитета (с I,6 до III,1), что свидетельствует о неблагоприятных условиях роста древостоя в спелом возрасте. За исследуемый период произошло увеличение среднего диаметра на 11,5 см и средней высоты на 5,0 м. Запас живого древостоя повысился на 76 м<sup>3</sup>/га, отпад (в основном валежник) составил 243 м<sup>3</sup>/га.

Темпы разрушения древостоя следует считать значительными, но не нарушающими структуру, о чем свидетельствуют увеличение запаса живого древостоя и сохранение высокой полноты в возрасте 144 лет. Успешно развивающаяся ель формирует второй ярус (средний диаметр – 16,4 см, средняя высота – 16,8 м) с полнотой 0,13 и запасом 22 м<sup>3</sup>/га.

Водохранилище в данных условиях произрастания оказывает опосредованное влияние на почвенно-грунтовые воды, удлиняя период переувлажнения почв тальными и дождевыми водами из-за подпора естественных водотоков при высоком уровне водохранилища.

В ходе расчета показателя комплекса факторов, связанных с опосредованным влиянием водохранилища, за 70-летний период установлено, что оно было положительным на радиальный прирост (+15 %), средний прирост (+125 %) и средний отпад (+22 %) и отрицательным на апикальный прирост (–36 %), запас (–2 %) и текущий наличный прирост (–57 %).

Сравнивая таксационные показатели сосны ППП с соответствующими показателями из стандартных таблиц хода роста, можно отметить, что средние приросты сравниваемых древостоев по динамике отличаются незначительно. Это свидетельствует о примерном равенстве изменения запаса древостоя на протяжении всей его жизни. Текущий прирост характеризует изменение запаса древостоя в течение определенных периодов и более чутко реагирует на климатические особенности таких периодов. Так, резкий подъем текущего прироста древостоя сосны на ППП совпадает с периодом, когда преобладали умеренно влажные годы, а резкий спад соответствует периоду очень засушливых лет.

Необходимо отметить, что на ППП, пройденной низовым пожаром, был уничтожен обильно росший еловый подрост (>1,0 тыс. шт./га). На участке без пирогенного воздействия насчитывалось 0,5 тыс. шт./га елей и 0,2 тыс. шт./га берез с преобладающей высотой до 0,5 м удовлетворительного состояния. В табл. 2 приведены таксационные показатели подроста в годы учетов.

Таблица 2

## Динамика таксационных показателей подроста на ППП 22

Название растения	Показатель	Значение показателя в год учета			
		1947	1976	2001	2017
Сосна обыкновенная ( <i>Pinus sylvestris</i> L.)	<i>N</i>	–	–	–	Единично
	<i>h</i>	–	–	–	0,2...0,3
	<i>C</i>	–	–	–	Удовлетворительное
Ель европейская ( <i>Picea abies</i> (L.) Karst.)	<i>N</i>	0,5	2,2	2,0	1,5
	<i>h</i>	≥0,5	0,5...6,0	1,0...8,0	2,5...5,0
	<i>C</i>	Удовлетворительное	Хорошее	Хорошее	Хорошее
Береза бородавчатая ( <i>Betula pendula</i> Roth.)	<i>N</i>	0,2	1,5	1,0	0,5
	<i>h</i>	≥0,5	0,5...5,0	1,0...8,0	1,0...6,0
	<i>C</i>	Удовлетворительное	Удовлетворительное	Удовлетворительное	Удовлетворительное
Дуб черешчатый ( <i>Quercus robur</i> L.)	<i>N</i>	–	–	–	Единично
	<i>h</i>	–	–	–	0,3
	<i>C</i>	–	–	–	Удовлетворительное

Примечание. Здесь и далее, в табл. 3, *N* – общая численность, тыс. шт./га; *h* – высота, м; *C* – состояние древостоя.

Через 30 лет (1976 г.) на участке, пройденном сильным пожаром, насчитывалось 0,3 тыс. шт./га елей высотой от 0,3 до 2,0 м хорошего состояния и 1,0 тыс. шт./га берез высотой от 1,0 до 3,0 м удовлетворительного состояния. На участке, пройденном слабым пожаром, густыми куртинами (до 100 шт./0,1 га) разросся обильный еловый подрост высотой от 0,5 до 7,0 м, преобладали ели высотой около 2,0 м хорошего состояния. Появилось очень много куртин (до 200 шт./0,1 га) березового подроста высотой от 1,0 до 5,0 м, преобладали березки высотой 2,0 м удовлетворительного состояния. На участке без пирогенного воздействия насчитывалось 0,2 тыс. шт./га елей разной высоты (2,0...5,0 м) удовлетворительного состояния. В целом на ППП в ярусе подроста отмечено 2,2 тыс. шт./га елей и 1,5 тыс. шт./га берез.

Еще через 15 лет (2001 г.) картина распределения подроста существенно изменилась. На участке, пройденном сильным пожаром, ель по-прежнему росла куртинами (до 40...50 шт./0,1 га), ель была высотой от 1,0 до 7,0 м (преобладающая высота 3,0 м) хорошего состояния. Береза почти исчезла. На участке без пирогенного воздействия численность подроста ели и березы не изменилась. На участке, пройденном слабым пожаром, существенно поредел подрост березы, ель здесь была по-прежнему обильна. В целом на ППП в ярусе подроста насчитывалось 2,0 тыс. шт./га елей высотой от 1,0 до 8,0 м (преобладающая высота 1,0...3,0 м) хорошего состояния и 1,0 тыс. шт./га берез высотой от 1,0 до 8,0 м (преобладающая высота 3,0...4,0 м) удовлетворительного состояния.

При последнем описании яруса подроста (2017 г.) учтено 1,5 тыс. шт./га елей высотой от 1,0 до 5,0 м (преобладающая высота 3,0...4,0 м) хорошего состояния. Подрост ели на ППП распределен не равномерно и более обильн на части пробы, пройденной слабым пожаром, где растет куртинами до 25 шт./0,1 га. Численность подроста березы существенно сократилась, насчитывалось 0,5 тыс. шт./га берез высотой от 1,0 до 6,0 м (преобладающая высота 2,5...3,0 м) удовлетворительного состояния. Отмечены единичные экземпляры сосны обыкновенной и дуба черешчатого высотой 0,2...0,3 м удовлетворительного состояния.

Ярус подлеска на ППП не выражен, его таксационные показатели в годы проводимых учетов приведены в табл. 3.

Таблица 3

Динамика таксационных показателей подлеска на ППП 22

Название растения	Показатель	Значение показателя в год учета			
		1947	1976	2001	2017
Можжевельник обыкновенный ( <i>Juniperus communis</i> L.)	N	Единично	–	–	–
	h	≥0,5	–	–	–
	C	Удовлетворительное	–	–	–
Рябина обыкновенная ( <i>Sorbus aucuparia</i> L.)	N	–	–	–	Единично
	h	–	–	–	≥0,4
	C	–	–	–	Удовлетворительное
Ива ушастая ( <i>Salix aurita</i> L.)	N	–	Единично	–	–
	h	–	≥0,7	–	–
	C	–	Удовлетворительное	–	–
Ива пепельная ( <i>S. cinerea</i> L.)	N	–	Единично	–	–
	h	–	≥0,7	–	–
	C	–	Удовлетворительное	–	–

В 1947 г. на участке без пирогенного воздействия встречались единичные кустики можжевельника обыкновенного высотой до 0,5 м, которые к следующему переучету (1976 г.) исчезли.

На протяжении 70-летнего периода ярус подлеска на ППП менялся, появлялись и исчезали единичные кустики ивы ушастой и пепельной высотой до 0,7 м удовлетворительного состояния.

При последнем описании (2017 г.) подлесок был представлен лишь единичными деревцами рябины обыкновенной высотой до 0,4 м удовлетворительного состояния.

Показатели изменения живого напочвенного покрова в годы учетов приведены в табл. 4.

Таблица 4

## Динамика живого напочвенного покрова на ППП 22

Название растения	Год учета							
	1947		1976		2001		2017	
	Балл	%	Балл	%	Балл	%	Балл	%
<i>Травяно-кустарничковый ярус</i>								
Черника ( <i>Vaccinium myrtillus</i> L.)	3...4	40	3...4	35	4	40	3, м. 4	25
Брусника ( <i>V. vitisidaea</i> L.)	2...3	10	м. 1...3	–	1	–	2, м. 3	–
Голубика ( <i>V. uliginosum</i> L.)	1	–	м. 1...2	–	м. 1	–	ед.	–
Багульник ( <i>Ledum palustre</i> L.)	–	–	1...2	–	un	–	м. 3	–
Кассандра ( <i>Chamaedaphne calyculata</i> L.)	1	–	м. 1	–	un	–	–	–
Гудайера ползучая ( <i>Goodyera repens</i> (L.) R. Br.)	–	–	м. 1	–	м. 1	–	м. 1...2	–
Фиалка болотная ( <i>Viola palustris</i> L.)	1	–	–	–	–	–	–	–
Седмичник европейский ( <i>Trientalis europaea</i> L.)	1	–	–	–	–	–	м. 1	–
Вербейник обыкновенный ( <i>Lysimachia vulgaris</i> L.)	un	–	–	–	–	–	–	–
Ожика волосистая ( <i>Luzula pilosa</i> (L.) Willd.)	1	–	м. 1	–	м. 1	–	м. 1...2	–
Щитовник игольчатый ( <i>Dryopteris carthusiana</i> (Vill.) H. P. Fuchs)	1	–	1	–	м. 1	–	м. 1	–
Плаун годовой ( <i>Lycopodium annotinum</i> L.)	1	–	–	–	–	–	–	–
Хвощ лесной ( <i>Equisetum sylvaticum</i> L.)	–	–	м. 1	–	un	–	un	–
Марьянник луговой ( <i>Melampyrum pratense</i> L.)	–	–	–	–	un	–	м. 1	–
Пушица влагалищная ( <i>Eriophorum vaginatum</i> L.)	–	–	м. 1	–	–	–	–	–
Осока шаровидная ( <i>Carex globularis</i> L.)	2...3	5	3...4	15	–	10	3, м. 4	–
Осока бледноватая ( <i>C. pallescens</i> L.)	4	5	–	–	–	–	–	–
Осока черная ( <i>C. nigra</i> (L.) Reichard)	–	–	м. 1	–	м. 1	–	м. 1	–
Лапчатка прямостоячая ( <i>Potentilla erecta</i> (L.) Rausch)	un	–	–	–	–	–	–	–
<i>Моховой покров</i>								
Плеуроциум Шребера ( <i>Pleurozium schreberi</i> (Brid.) Mitt.)	4	45	м. 3...4	25	5	40	4...5	40
Дикран волнистый ( <i>Dicranum polysetum</i> Sw.)	2...3	5	3	5	м. 3	–	2, м. 3	–

Окончание табл. 4

Название растения	Год учета							
	1947		1976		2001		2017	
	Балл	%	Балл	%	Балл	%	Балл	%
Гилокомий блестящий ( <i>Hylocomium splendens</i> (Hedw.) B. S. G.)	3	10	м. 2	–	1	–	1...2	–
Кукушкин лен обыкновенный ( <i>Polytrichum commune</i> Hedw.)	3	30	3...4	10	м. 3	–	2, м. 3	–
Кукушкин лен можжевельный ( <i>P. juniperum</i> Willd.)	–	–	м. 1	–	м. 1	–	м. 1	–
Сфагнум Гиргензона ( <i>Sphagnum girgensohnii</i> Russ.)	3	5	–	–	–	–	м. 1	–
Сфагнум узколистый ( <i>S. angustifolium</i> (Russ.) C. Jens.)	2...3	5	5	60	5	40	4...5	45
Сфагнум гладкий ( <i>S. teres</i> Schimp.)	–	–	1...2	–	–	–	–	–
Сфагнум дубравный ( <i>S. nemoreum</i> Scop.)	–	–	1	–	1	–	1	–
Сфагнум магелланский ( <i>S. magellanicum</i> Brid.)	–	–	м. 1	–	м. 1	–	м. 2	–

Примечание: м. – местами; un – единично.

Первое описание живого напочвенного покрова проводилось в 1947 г. На участке, пройденном низовым пожаром, травяно-кустарничковый ярус полностью погиб. На участке без пирогенного воздействия флористический состав был довольно разнообразен. Фоновыми видами были черника (40 %), брусника (10 %), осоки шаровидная и бледноватая (10 %). В небольшом обилии встречались растения, типичные для зеленомошных типов лесов, например щитовник игольчатый, фиалка болотная, седмичник европейский, ожика волосистая и плаун годовалый. Также встречались и болотные кустарнички: голубика и кассандра. Единично отмечались вербейник обыкновенный и лапчатка прямостоячая.

В моховом покрове преобладали зеленые мхи: плеуроциум Шребера (45 %), гилокомий блестящий (10 %) и дикран волнистый (5 %). В пониженной части пробы господствовали кукушкин лен обыкновенный (30 %), на фоне которого выделялись пятна сфагнума Гиргензона (5 %) и сфагнума узколистого.

Учитывая наличие фоновых видов напочвенного покрова, тип-этап можно назвать сосняк бруснично-черничный сфагново-долгомошно-зеленомошный, или сосняк ягодно-зеленомошный заболачивающийся на стадии I по сфагновому и стадии I по долгомошному способу.

Через 30 лет после пожара (1976 г.) в травяно-кустарничковом ярусе черника сохранила долю своего участия в напочвенном покрове (35 %), существенно разрослась осока шаровидная (15 %). Появились в небольшом обилии багульник, гудайера ползучая, хвощ лесной, пушица влагилищная и осока черная. Исчезли фиалка болотная, седмичник европейский, вербейник обыкновенный, плаун годовалый, осока бледноватая и лапчатка прямостоячая.

Моховой покров изменился существенно. Снизилась доля плеуроциума Шребера (25 %), гилокомий блестящий сохранился лишь в виде небольших пятен. Меньше стало кукушкина льна обыкновенного (10 %).

Существенно разросся сфагнум узколистый (60 %), на его фоне выделялись редкие пятна сфагнумов гладкого, дубравного и магелланского.

Этот тип-этап можно назвать сосняк осоково-черничный долгомошно-зеленомошно-сфагновый, или сосняк-черничный заболачивающийся на стадии III по сфагновому и стадии I по долгомошному способу.

Еще через 25 лет (2001 г.) в травяно-кустарничковом ярусе по-прежнему преобладали черника (40 %) и осока шаровидная (10 %). Остальные виды встречались в небольшом обилии.

В моховом покрове, в связи с чередой засушливых лет в 1990-е годы, разросся плеуроциум Шребера (40 %), потеснив сфагнум узколистый (40 %). Существенно снизилась доля кукушкина льна обыкновенного, который перестал быть фоновым видом. Очевидно, что на предшествующее разрастание кукушкина льна в первые десятилетия после низового пожара повлиял пирогенный фактор. Появились мертвопокровные участки (20 %).

Этот тип-этап можно назвать сосняк осоково-черничный зеленомошно-сфагновый, или сосняк-черничник заболачивающийся на стадии II по сфагновому способу.

Еще через 15 лет (2017 г.), при последнем описании травяно-кустарничкового яруса, отмечено существенное снижение доли черники, но она по-прежнему оставалась фоновым видом напочвенного покрова (25 %). Доля осоки шаровидной не изменилась (10 %). В небольшом обилии сохранились брусника, гудайера ползучая, седмичник европейский, ожика волосистая, щитовник игольчатый, марьянник луговой и осока черная. Единично встречались голубика и хвощ лесной.

Облик мохового покрова остался прежним. Доли участия в проективном покрытии плеуроциума Шребера и сфагнума узколистого практически не изменились (40 и 45 % соответственно). Сохранились черты выделенного в 2001 г. типа-этапа сосняка осоково-черничного зеленомошно-сфагнового, или сосняка-черничника заболачивающегося на стадии II по сфагновому способу.

#### *Заключение*

Анализ изменений разных компонентов сосняка ягодно-зеленомошного заболачивающегося, растущего на пологом склоне гривы, примыкающем к массивам заболоченных сфагновых сосняков в зоне косвенного влияния водохранилища, позволяет констатировать следующее.

Водохранилище не оказывает непосредственного влияния на глубину залегания и режим сезонной динамики почвенно-грунтовых вод. Гидрологические характеристики почвы зависят от количества выпавших осадков, интенсивности транспирации и испарения с ее поверхности. Однако на исследуемых участках отмечается избыточное переувлажнение почвы в периоды снеготаяния и обильных дождей, что связано с подпором естественных водотоков при высоком уровне водохранилища, как результат опосредованного влияния последнего.

На пологих склонах грив, граничащих с болотом, отмечается увеличение мощности лесной подстилки и усиление процесса торфонакопления, как результат переувлажнения и подавления микробиологической активности в нижнем ее слое. В годы с избыточным увлажнением в почве усиливается процесс оглеения, что связано с ее переувлажнением, усилением процесса восстановления и образованием закисного железа – основного компонента в процессе оглеения.

Как результат комплекса факторов, связанных с опосредованным влиянием водохранилища, в динамике древостоя отмечено положительное влияние на радиальный и средний приросты, средний отпад древостоя и отрицательное влияние на апикальный прирост, запас и текущий прирост. Выявлена связь текущего прироста древостоя с климатическими особенностями периодов, так его резкое снижение наблюдалось в периоды с очень засушливыми годами.

Динамика подроста выразилась в обильном возобновлении березы в первые три десятилетия после пожара (1,5 тыс. шт./га), но в последующие годы численность ее подроста сократилась из-за неблагоприятных световых условий.

Подрост ели успешно поселился на ППП, особенно на участке, пройденном слабым пожаром. Максимальная численность подроста достигала 2,2 тыс. шт./га, к настоящему времени она снизилась до 1,5 тыс. шт./га. За 70-летний период из подроста перешли во второй ярус древостоя более 0,5 тыс. шт./га елей. По темпам возобновления и состоянию подроста просматривается тенденция смены сосны елью в новом поколении леса.

Изменения, произошедшие в живом напочвенном покрове, как индикаторе почвенно-гидрологических условий [17] и важном компоненте лесных экосистем [16], проявились в снижении доли в травяно-кустарничковом ярусе черники и брусники, причем последняя перестала быть фоновым видом. В динамике мохового покрова отмечено интенсивное разрастание кукушкина льна обыкновенного за счет вытеснения зеленых мхов в первые десятилетия после пожара. В это время четко была выражена долгомошная стадия заболачивания. В последующие десятилетия произошло вытеснение кукушкина льна отчасти зелеными мхами и в основном сфагнумом узколистным – типичным обитателем верховых болот.

Таким образом, скорость и направление изменений, произошедших за 70-летний период, позволяют с позиции динамической типологии И.С. Мелехова [4] рассматривать сосняк ягодно-зеленомошный заболачивающийся на начальной стадии как этап относительно ускоренного формирования нового типа сосняка-черничника зеленомошно-сфагнового на средней стадии заболачивания.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дьяконов К.Н. Влияние крупных равнинных водохранилищ на леса прибрежной зоны. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 126 с.
2. Леонтьев А.М. Из материалов изучения режима почвенно-грунтовых вод в характерных типах лесов Дарвинского государственного заповедника // Тр. Дарвинского государственн. заповед. Вологда: Сев.-Зап. кн. изд-во, 1968. Вып. 9. Природные ресурсы Молого-Шекснинской низменности. С. 5–42.
3. Манькова Т.С. Современные процессы в подзолистых почвах, находящихся под влиянием Рыбинского водохранилища: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1985. 15 с.
4. Мелехов И.С. Лесоведение: учеб. для вузов. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 408 с.
5. Мухин А.К. Влияние Рыбинского водохранилища на положение уровня грунтовых вод на примере Мшичинского экологического профиля Дарвинского заповедника // Материалы Вологод. обл. науч.-практ. конф. 2015. Вып. 11. С. 102–109.
6. Писанов В.С. Динамика заболачивающихся сосняков в условиях подтопления Рыбинским водохранилищем // Лесоведение. 1996. № 4. С. 20–28.

7. Писанов В.С., Мухин А.К. Динамика зеленомошных сосняков в зоне косвенного влияния Рыбинского водохранилища // Лесн. журн. 2013. № 1. С. 16–21. (Изв. высш. учеб. заведений).

8. Писанов В.С., Ульянов И.Н. Динамика ягодниково-зеленомошного сосняка в условиях влияния водохранилища // Лесн. журн. 2002. № 1. С. 38–43. (Изв. высш. учеб. заведений).

9. Тюрин А.В., Науменко И.М., Воропанов П.В. Лесная вспомогательная книжка: (По таксации леса). М.; Л.: Гослесбумиздат, 1956. 532 с.

10. Успенская А.А. Материалы к изучению почвенного покрова основных типов лесов Дарвинского государственного заповедника // Тр. Дарвин. гос. заповед. Вологда: Сев.-Зап. кн. изд-во, 1968. Вып. 9. Природные ресурсы Молого-Шекснинской низменности. С. 123–181.

11. Шенников А.П. Введение в геоботанику: учеб. для биол. фак. ун-тов. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1964. 447 с.

12. Eggers J., Lindner M., Zudin S., Zaehle S., Liski J. Impact of Changing Wood Demand, Climate and Land Use on European Forest Resources and Carbon Stocks during the 21st Century // *Global Change Biology*. 2008. Vol. 14, iss. 10. Pp. 2288–2303. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2008.01653.x

13. Groffman P.M., Rustad L.E., Templer P.H., Campbell J.L., Christenson L.M., Lany N.K., Soccia A.M., Vadeboncoeur M.A., Schaberg P.G., Wilson G.F., Driscoll Ch.T., Fahey T.J., Fisk M.C., Goodale C.L., Green M.B., Hamburg S.P., Johnson C.E., Mitchell M.J., Morse J.L., Pardo L.H., Rodenhouse N.L. Long-Term Integrated Studies Show Complex and Surprising Effects of Climate Change in the Northern Hardwood Forest // *BioScience*. 2012. Vol. 62, iss. 12. Pp. 1056–1066. DOI: 10.1525/bio.2012.62.12.7

14. Hurmekoski E., Hetemäki L. Studying the Future of the Forest Sector: Review and Implications for Long-Term Outlook Studies // *Forest Policy and Economics*. 2013. Vol. 34. Pp. 17–29. DOI: 10.1016/j.forpol.2013.05.005

15. Mohammadi Limaie S., Lohmander P., Olsson L. Dynamic Growth Models for Continuous Cover Multi-Species Forestry in Iranian Caspian Forests // *Journal of Forest Science*. 2017. Vol. 63, no. 11. Pp. 519–529. DOI: 10.17221/32/2017-JFS

16. Pitkänen S. Effect of Tree Stand and Site Variables on Alpha Diversity of Ground Vegetation in the Forests of Northern Karelia // *Journal of Environmental Management*. 2000. Vol. 58, iss. 4. Pp. 289–295. DOI: 10.1006/jema.2000.0332

17. Rodenkirchen H. Nutrient Pools and Fluxes of the Ground Vegetation in Coniferous Forests Due to Fertilizing, Liming and Amelioration // *Plant and Soil*. 1995. Vol. 168, iss. 1. Pp. 383–390.

Поступила 28.08.18

UDC 630\*187

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.17

### Long-Term Dynamics of Waterlogging Pine Forests under the Reservoir Influence

**A.K. Mukhin**, Research Scientist; ResearcherID: [G-8006-2019](#), ORCID: [0000-0002-5269-1566](#)  
Darwin State Nature Biosphere Reserve, 44, der. Borok, Cherepovets district,  
Vologda region, 162723, Russian Federation; e-mail: [akm.ru@yandex.ru](mailto:akm.ru@yandex.ru)

The results of studying long-term dynamics of the Darwin State Nature Biosphere Reserve forests happened to be in changed environmental conditions due to the influence of the Rybinsk reservoir are presented. Multi-year reservoir influence has significantly changed the environment of coastal areas, which resulted in necessity of studying the state of coastal forests. Dynamics studies of the forests were based on the principles of dynamic typology tested by I.S. Melekhov under study of early stages of anthropogenic forest life. The data we

have obtained for mature and old growth forests bring in the significant changes to a concept of forest type stability at a stage of mature forest stand or formed type of forest. The studied forests do not remain their uniformity even throughout a single generation. The study object was waterlogging berry green moss pine forest growing in the indirect reservoir influence zone. Detailed description and analysis of various components of the studied forest type have been carried out for the purposes of studying the direction and speed of growth and development processes. The main attention was paid to the changes of forest live cover as an indicator of soil and hydrological conditions, forest stand, undergrowth and understorey. Conclusions on the direction and speed of changes in soils, their hydrological regime, the phytocenosis were drawn on the basis of data analysis obtained for the 70-year period on dynamics of different components of waterlogging berry green moss pine forest at the initial stage. It is essential in terms of dynamic typology to consider the studied forest type as a stage of relatively accelerated formation of blueberry green moss sphagnum pine forest at the middle waterlogging stage with a well-defined tendency to replacement of pine with spruce in new generation. These conclusions confirm the principles of I.S. Melekhov's dynamic typology and have a significant meaning for forest science and practice, as well as carrying out the monitoring researches in the reserve.

**For citation:** Mukhin A.K. Long-Term Dynamics of Waterlogging Pine Forests under the Reservoir Influence. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2019, no. 3, pp. 17–31. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.17

**Keywords:** reservoir influence, dynamic forest typology, type-stage, forest waterlogging, pine forest.

#### REFERENCES

1. D'yakonov K.N. *Influence of Large Plain Reservoirs on the Coastal Zone Forests*. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1975. 126 p.
2. Leont'yev A.M. From the Materials of Studying the Regime of Soil and Ground Waters in Typical Forests of the Darwin State Reserve. *Proceedings of the Darwin State Reserve*. Vologda, Severo-Zapadnoye knizhnoye izdatel'stvo, 1968, iss. 9, pp. 5–42.
3. Man'kova T.S. *Modern Processes in Ash Gray Soils Influenced by the Rybinsk Reservoir*: Cand. Biol. Sci. Diss. Abs. Moscow, 1985. 15 p.
4. Melekhov I.S. *Sylviculture: Textbook for Universities*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1980. 408 p.
5. Muhin A.K. Influence of the Rybinsk Reservoir on the Groundwater Level on the Example of the Mshichin Ecological Profile of the Darwin Reserve. *Proceedings of the Vologda Regional Scientific Practical Conference*. 2015, iss. 11. pp. 102–109.
6. Pisanov V.S. Dynamics of Eutrophic Pine Forests under Conditions of Flooding by the Rybinsk Reservoir. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 1996, no. 4, pp. 20–28.
7. Pisanov V.S., Mukhin A.K. Dynamics of Moss Pine Stands in the Area of Indirect Impact of Rybinsk Reservoir. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2013, no. 1, pp. 16–21.
8. Pisanov V.S., Uljanov I.N. Dynamics of Berry-shaped True Moss Pine Stands under Influence of Water Storage Basin. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2002, no. 1, pp. 38–43.
9. Tyurin A.V., Naumenko I.M., Voroponov P.V. *Forest Supplementary Book: (On Forest Valuation)*. Moscow, Goslesbumizdat Publ., 1956. 532 p.
10. Uspenskaya A.A. Materials for the Soil Cover Studying of the Main Forest Types of the Darwin State Reserve. *Proceedings of the Darwin State Reserve*. Vologda, Severo-Zapadnoye knizhnoye izdatel'stvo, 1968, iss. 9, Natural Resources of Mologa-Sheksna Lowland, pp. 123–181.

---

11. Shennikov A.P. *Introduction to Geobotany*: Textbook for Biological Faculties of Universities. Leningrad, LSU Publ., 1964. p. 447.

12. Eggers J., Lindner M., Zudin S., Zaehle S., Liski J. Impact of Changing Wood Demand, Climate and Land Use on European Forest Resources and Carbon Stocks during the 21st Century. *Global Change Biology*, 2008, vol. 14, iss. 10, pp. 2288–2303. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2008.01653.x

13. Groffman P.M., Rustad L.E., Templer P.H., Campbell J.L., Christenson L.M., Lany N.K., Soggi A.M., Vadeboncoeur M.A., Schaberg P.G., Wilson G.F., Driscoll Ch.T., Fahey T.J., Fisk M.C., Goodale C.L., Green M.B., Hamburg S.P., Johnson C.E., Mitchell M.J., Morse J.L., Pardo L.H., Rodenhouse N.L. Long-Term Integrated Studies Show Complex and Surprising Effects of Climate Change in the Northern Hardwood Forest. *BioScience*, 2012, vol. 62, iss. 12, pp. 1056–1066. DOI: 10.1525/bio.2012.62.12.7

14. Hurmekoski E., Hetemäki L. Studying the Future of the Forest Sector: Review and Implications for Long-Term Outlook Studies. *Forest Policy and Economics*, 2013, vol. 34, pp. 17–29. DOI: 10.1016/j.forpol.2013.05.005

15. Mohammadi Limaei S., Lohmander P., Olsson L. Dynamic Growth Models for Continuous Cover Multi-Species Forestry in Iranian Caspian Forests. *Journal of Forest Science*, 2017, vol. 63, no. 11, pp. 519–529. DOI: 10.17221/32/2017-JFS

16. Pitkänen S. Effect of Tree Stand and Site Variables on Alpha Diversity of Ground Vegetation in the Forests of Northern Karelia. *Journal of Environmental Management*, 2000, vol. 58, iss. 4, pp. 289–295. DOI: 10.1006/jema.2000.0332

17. Rodenkirchen H. Nutrient Pools and Fluxes of the Ground Vegetation in Coniferous Forests Due to Fertilizing, Liming and Amelioration. *Plant and Soil*, 1995, vol. 168, iss. 1, pp. 383–390.

Received on August 28, 2018

---

УДК 630\*23:581.526.426.2

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.32

## ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ ПОДРОСТОМ СПЕЛЫХ И ПЕРЕСТОЙНЫХ ТЕМНОХВОЙНЫХ НАСАЖДЕНИЙ ПЕРМСКОГО КРАЯ

*Е.А. Ведерников<sup>1</sup>, аспирант; ResearcherID: H-2642-2019, ORCID: 0000-0002-8249-1143*

*С.В. Залесов<sup>1</sup>, д-р с.-х. наук, проф.; ResearcherID: H-2605-2019, ORCID: 0000-0003-3779-410X*

*Е.С. Залесова<sup>1</sup>, канд. с.-х. наук, доц.; ResearcherID: H-1645-2019, ORCID: 0000-0003-4403-8118*

*А.Г. Магасумова<sup>1</sup>, канд. с.-х. наук, доц.; ResearcherID: H-1607-2019,*

*ORCID: 0000-0002-1727-2008*

*О.В. Толкач<sup>2</sup>, д-р с.-х. наук; ResearcherID: M-4881-2018, ORCID: 0000-0002-4530-3334*

<sup>1</sup>Уральский государственный лесотехнический университет, Сибирский тракт, д. 37, г. Екатеринбург, Россия, 620100; wedernikow2008@yandex.ru, zalesov@usfeu.ru, kaly88@mail.ru, alfyam@rambler.ru

<sup>2</sup>Ботанический сад Уральского отделения Российской академии наук, ул. 8 Марта, д. 202а, г. Екатеринбург, Россия, 620130; e-mail: tolkach\_o\_v@mail.ru

На основе данных лесоустроительных материалов Красновишерского лесничества Пермского края проанализирована обеспеченность подростом предварительной генерации спелых и перестойных темнохвойных насаждений Средне-Уральского таежного лесного района. Установлено, что темнохвойные насаждения представлены ельниками, пихтарниками и кедровниками, которые занимают 55,3 % покрытой лесной растительностью площади и 83,7 % площади хвойных насаждений. При этом на ельники приходится 98,7 % общей площади темнохвойных насаждений, на пихтарники – 1,2 %, на кедровники – 0,1 %. Среди темнохвойных преобладают насаждения пятого и старше классов возраста (65,4 %), III и IV классов бонитета (87,1 %) с полнотой 0,5–0,7 (67,9 % общей площади). Еловые насаждения приурочены к типам лесорастительных условий С<sub>3</sub> (66,2 %), В<sub>2</sub> (12,5 %) и В<sub>4</sub> (9,7 %). Под пологом 90,8 % площади спелых и перестойных темнохвойных насаждений имеется подрост хвойных пород, при этом на 12,0 % площади его густота превышает 2,0 тыс. шт./га. Максимальной обеспеченностью подростом в лесорастительных условиях С<sub>3</sub> и В<sub>4</sub> характеризуются спелые и перестойные темнохвойные насаждения с относительной полнотой 0,6, в лесорастительных условиях А<sub>4</sub>, В<sub>2</sub>, В<sub>5</sub> и С<sub>4</sub> – 0,5. Последнее следует учитывать при планировании выборочных рубок и способов лесовосстановления.

**Для цитирования:** Ведерников Е.А., Залесов С.В., Залесова Е.С., Магасумова А.Г., Толкач О.В. Обеспеченность подростом спелых и перестойных темнохвойных насаждений Пермского края // Лесн. журн. 2019. № 3. С. 32–42. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.32

**Ключевые слова:** Средне-Уральский таежный лесной район, темнохвойные насаждения, подрост предварительной генерации, обеспеченность.

### Введение

В последние десятилетия для лесов бореальной зоны характерно массовое усыхание темнохвойных насаждений [10, 15], что вызывает повышенный интерес к установлению количественных показателей подроста, имеющегося под пологом спелых и перестойных темнохвойных насаждений, которые произрастают в различных лесорастительных условиях.

Известно [9, 14], что наличие жизнеспособного подроста под пологом спелых и перестойных насаждений является свидетельством их устойчивого состояния и основой формирования высокопроизводительных молодняков

целевого породного состава. При условии сохранения жизнеспособного подростка в процессе проведения лесосечных работ предотвращается смена пород, сокращаются затраты на лесовосстановление и оборот рубки будущих древостоев, а также не теряются защитные функции насаждений [2, 6].

Наличие под пологом насаждений подростка различных видов обеспечивает в будущем формирование смешанных насаждений, характеризующихся по сравнению с монокультурами повышенным генотипическим и структурным разнообразием, лучшей адаптированностью к меняющимся условиям окружающей среды [12, 13, 16].

Библиография работ по анализу и оценке качества подростка предварительной генерации обширна [1, 3, 5, 7]. Однако количественные и качественные показатели подростка зависят от огромного числа факторов. Арендаторы при планировании и проведении рубок спелых и перестойных насаждений, способов лесовосстановления далеко не всегда имеют объективные данные об обеспеченности подростом, что приводит к смене пород, а также накоплению не покрытых лесной растительностью площадей.

Перед нами стояла задача – проанализировать обеспеченность подростом спелых и перестойных темнохвойных насаждений Средне-Уральского таежного лесного района Пермского края в целях использования полученных данных для выбора способа рубок и лесовосстановления при составлении проектов освоения лесов.

#### *Объекты и методы исследования*

Объектом исследования служили темнохвойные насаждения Средне-Уральского таежного лесного района Пермского края, расположенные в типичном (ключевом) для этого района Красновишерском лесничестве общей площадью 677 326 га.

На основании электронных баз данных лесоустроительных материалов этого лесничества произведена выделительная выборка для установления средних таксационных показателей темнохвойных насаждений, а также обеспеченности их подростом. Всего было проанализировано 36 740 выделов.

Для установления обеспеченности подростом все спелые и перестойные темнохвойные насаждения в соответствии с действующими Правилами лесовосстановления [4] были разделены на 4 группы:

- без подростка;
- с густотой подростка до 1,0 тыс. шт./га;
- с густотой подростка от 1,0 до 2,0 тыс. шт./га;
- с густотой подростка более 2,0 тыс. шт./га.

При этом подразумевалось, что при густоте подростка более 2,0 тыс. шт./га основным мероприятием по лесовосстановлению является сохранение подростка предварительной генерации в процессе проведения лесосечных работ. При густоте подростка от 1,0 до 2,0 тыс. шт./га для успешного лесовосстановления применяется комбинированный способ. При полном отсутствии подростка планируется, как правило, искусственное лесовосстановление, а при густоте до 1,0 тыс. шт./га – искусственное лесовосстановление или проведение эффективных мероприятий по содействию естественному лесовозобновлению.

Таблица 1

Преобладающая порода	Класс возраста							Всего
	1	2	3	4	5	6	7	
Е	18186,4 5,6	38495,2 11,8	33537,8 10,3	22463,1 6,9	15087,2 4,6	40619,7 12,4	157849,6 48,4	326239,0 100
П	74,7 1,9	242,7 6,1	250,9 6,3	1043,0 26,3	442,6 11,2	784,0 19,7	1133 28,5	3970,9 100
К	-	34,8 20,9	-	16,2 9,7	71,7 43,2	23,7 14,3	19,7 11,9	166,1 100
Итого	18261,1 5,5	38772,7 11,8	33788,7 10,2	23522,3 7,1	15601,5 4,7	48427,4 12,6	159002,3 48,1	330376,0 100

Распределение площади (га/%) темнохвойных насаждений по классам возраста

### Результаты исследования и их обсуждение

В ходе исследования установлено, что доля земель, покрытых лесной растительностью в Красновишерском лесничестве, составляет 88,2 % от общей площади лесного фонда. При этом на долю хвойных насаждений приходится 66,1 %, т. е. хвойные насаждения доминируют на покрытой лесной растительностью площади.

Среди хвойных насаждений встречаются ельники, пихтарники, кедровники, сосняки и лиственничники. Насаждения с преобладанием в составе древостоев ели (Е), пихты (П) и кедра – сосны сибирской (К), составляют темнохвойную формацию, что составляет 55,3 % от общей покрытой лесной растительностью площади и 83,7 % от площади хвойных насаждений. Данные о распределении темнохвойных насаждений Красновишерского лесничества по классам возраста приведены в табл. 1.

Материалы табл. 1 свидетельствуют, что среди темнохвойных насаждений доминируют ельники (98,7 % их общей площади). Распределение темнохвойных насаждений по классам возраста неравномерное. При этом на долю насаждений 5-го и старше классов возраста приходится 65,4 % от общей площади темнохвойных насаждений и 65,4 % от площади, занятой ельниками.

Необходимо отметить, что доля молодняков 1-го класса возраста с преобладанием ели и пихты в составе древостоев составляет лишь 5,5 % от общей площади темнохвойных насаждений, что свидетельствует о продолжающейся смене коренных еловых насаждений на производные мягколиственные и необходимости увеличения объемов рубок спелых и перестойных насаждений во избежание накопления перестойных древостоев со слабыми приростом и устойчивостью.

Темнохвойные насаждения лесничества представлены I–Vб классами бонитета. При этом более половины всех насаждений отнесены к III классу, 10,8 % – к V–Vб. Как видно из табл. 2, темнохвойные насаждения района исследований характеризуются относительно высокой производительностью, что свидетельствует о недопустимости замены их на насаждения других формаций.

Таблица 2

**Распределение площади (га/%) темновойных насаждений  
по классам бонитета**

Преобладающая порода	Класс бонитета							Всего
	I	II	III	IV	V	Va	Vб	
Е	<u>175,2</u> 0,1	<u>6041,1</u> 1,8	<u>174508,1</u> 53,5	<u>110371,2</u> 33,8	<u>30725,0</u> 9,4	<u>3808,2</u> 1,2	<u>610,2</u> 0,2	<u>326239,0</u> 100
П	<u>31,1</u> 0,8	<u>760,2</u> 19,1	<u>2131,4</u> 53,7	<u>421,7</u> 10,6	<u>605,7</u> 15,3	<u>20,8</u> 0,5	–	<u>3970,9</u> 100
К	–	–	<u>14,2</u> 8,5	<u>134,2</u> 80,8	<u>17,7</u> 10,7	–	–	<u>166,1</u> 100
<i>Итого</i>	<u>206,3</u> 0,1	<u>6801,3</u> 2,0	<u>176653,7</u> 53,5	<u>110927,1</u> 33,6	<u>31347,8</u> 9,5	<u>3829,0</u> 1,1	<u>610,2</u> 0,2	<u>330376,0</u> 100

Среди темновойных насаждений на исследованной территории преобладают среднеполнотные древостои, 25,4 % их относятся к низкополнотным (0,3–0,4) и лишь 6,7 % – к высокополнотным (0,8–1,0) (табл. 3).

Таблица 3

**Распределение площади (га/%) темновойных насаждений  
по полноте древостоев**

Преобладающая порода	Относительная полнота								Всего
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
Е	<u>29456,0</u> 9,0	<u>53680,0</u> 16,4	<u>68472,7</u> 21,0	<u>90956,7</u> 27,9	<u>61824,6</u> 19,0	<u>17527,0</u> 5,4	<u>3323,8</u> 1,0	<u>998,8</u> 0,3	<u>326239,0</u> 100
П	<u>89,7</u> 2,3	<u>704,1</u> 17,7	<u>1172,7</u> 29,5	<u>1209,2</u> 30,5	<u>640,7</u> 16,1	<u>154,5</u> 3,9	–	–	<u>3970,9</u> 100
К	–	<u>46,3</u> 27,9	<u>53,1</u> 32,0	<u>66,7</u> 40,1	–	–	–	–	<u>166,1</u> 100
<i>Итого</i>	<u>29545,7</u> 8,9	<u>54430,4</u> 16,5	<u>69698,5</u> 21,1	<u>92232,6</u> 27,9	<u>62465,3</u> 18,9	<u>17681,5</u> 5,4	<u>3323,2</u> 1,0	<u>998,8</u> 0,3	<u>330376,0</u> 100

Увеличение относительной полноты древостоев можно рассматривать как один из путей повышения продуктивности темновойных насаждений.

Темновойные насаждения характеризуются широким диапазоном лесорастительных условий. Однако ельники произрастают преимущественно в лесорастительных условиях С<sub>3</sub> (66,2 %), В<sub>4</sub> (9,7 %) и В<sub>2</sub> (12,5 %).

Обеспеченность подростом спелых и перестойных темновойных насаждений лесничества во многом зависит от полноты древостоев. Приведенные в табл. 4 материалы свидетельствуют, что спелые и перестойные насаждения с преобладанием в составе древостоев темновойных пород характеризуются относительной полнотой 0,3–0,8. При этом на долю низкополнотных (0,3–0,4) приходится 38,67 % общей площади. Под пологом темновойных насаждений имеется жизнеспособный подрост ели, кедра, пихты и сосны обыкновенной.

Таблица 4

Преобладающая порода подроста	Относительная полнота						Всего
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	
<b>Ель:</b>							
всего	14057,6 7,01	32576,4 16,25	45772,8 22,84	53414,6 26,65	6274,8 3,13	47,1 0,02	152143,3 75,91
в том числе:							
до 1,0 тыс. шт./га	10443,9 5,21	19687,7 9,82	19658,9 9,81	10979,4 5,48	536,8 0,27	2,9 0,00	61309,6 30,59
1,0–2,0 тыс. шт./га	2747,9 1,37	11437,4 5,71	20872,5 10,41	28672,3 14,31	3343,1 1,67	16,0 0,01	67089,2 33,47
более 2,0 тыс. шт./га	865,8 0,43	1451,3 0,72	5241,4 2,62	13762,9 6,87	2394,9 1,19	28,2 0,01	23744,5 11,85
<b>Сосна сибирская кедровая:</b>							
всего	-	9,8 0,005	-	-	-	-	9,8 0,005
в том числе							
до 1,0 тыс. шт./га	-	9,8 0,005	-	-	-	-	9,8 0,005
<b>Пихта:</b>							
всего	7580,7 3,78	10533,5 5,26	8130,1 4,06	3454,4 1,72	83,2 0,04	-	29781,9 14,86
в том числе:							
до 1,0 тыс. шт./га	5620,2 2,80	7901,3 3,94	5439,7 2,71	2529,1 1,26	8,4 0,00	-	21498,7 10,73
1,0–2,0 тыс. шт./га	1812,6 0,90	2580,6 1,29	2669,4 1,33	916,3 0,46	74,8 0,04	-	8053,7 4,02
более 2,0 тыс. шт./га	147,9 0,07	51,6 0,03	21,0 0,01	9,0 0,00	-	-	229,5 0,11
<b>Сосна:</b>							
всего	-	-	-	2,9 0,00	16,0 0,01	-	18,9 0,01
в том числе:							
до 1,0 тыс. шт./га	-	-	-	2,9 0,00	-	-	2,9 0,00
более 2,0 тыс. шт./га	-	-	-	-	16,0 0,01	-	16,0 0,01
<b>Подроста нет</b>	6672,8 3,33	6068,6 3,03	3523,5 1,76	1934,3 0,97	276,6 0,14	-	18475,8 9,22
<b>Итого</b>	28311,1 14,13	49188,3 24,54	57426,4 28,65	58806,2 29,34	6650,6 3,32	47,1 0,02	200429,7 100

Подрост полностью отсутствует лишь на 9,22 % площади спелых и перестойных темновойных насаждений. Особо следует отметить, что в наибольшей степени представлен подрост ели. Последний встречается на 75,9 % общей площади спелых и перестойных темновойных насаждений. При этом на подрост пихты приходится 14,86 %, сосен сибирской и обыкновенной – соответственно 0,005 и 0,009 %.

Доля спелых и перестойных темнохвойных насаждений с количеством хвойного подроста более 2,0 тыс. шт./га составляет 12,0 %, в том числе с подростом ели указанной густоты 11,9 %. Следовательно, на 12,0 % площади спелых и перестойных темнохвойных насаждений (даже при проведении сплошнолесосечных рубок) на вырубках можно сформировать высокопроизводительные хвойные молодняки, не прибегая к искусственному лесовосстановлению. Кроме того, на 37,5 % площади лесовосстановление хвойными породами, преимущественно елью, можно обеспечить комбинированным способом.

Большинство спелых и перестойных темнохвойных насаждений, с подростом, имеют относительную полноту 0,6 и 0,5. Зависимость обеспеченности спелых и перестойных темнохвойных насаждений подростом от полноты древостоев приведена на рис. 1, 2.

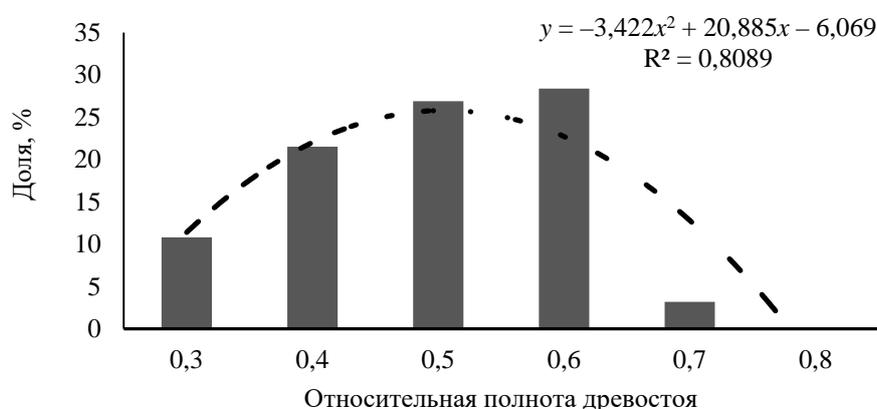


Рис. 1. Зависимость площади спелых и перестойных насаждений с подростом ели от относительной полноты древостоев

Fig. 1. The dependence of the area of mature and overripe stands with spruce undergrowth on the tree stands' relative density

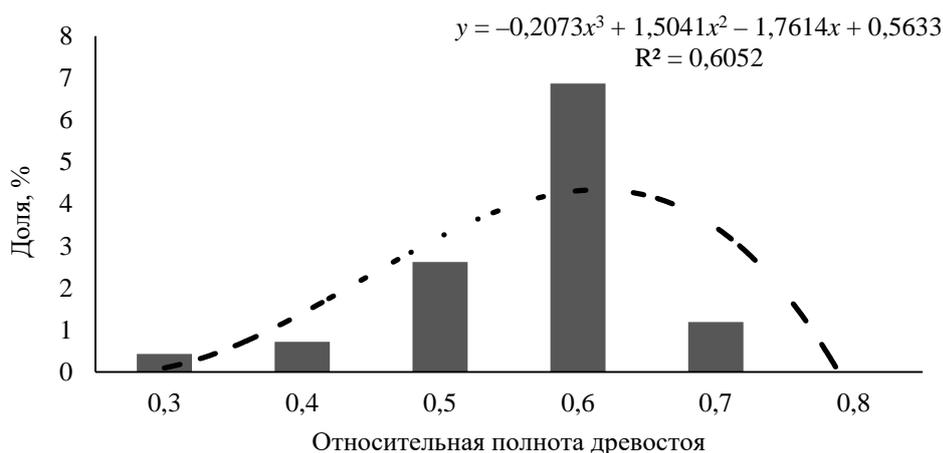


Рис. 2. Зависимость площади спелых и перестойных насаждений с подростом ели густотой более 2,0 тыс. шт./га от относительной полноты древостоев

Fig. 2. The dependence of the area of mature and overripe stands with spruce undergrowth with density more than 2.0 thousand pcs/ha on the tree stands' relative density



Как видно из табл. 5, подрост ели имеет место в спелых и перестойных насаждениях с достаточно широкой амплитудой лесорастительных условий. При этом основная доля насаждений с подростом ели приходится на лесорастительные условия  $C_3$  (63,35 %) и  $B_4$  (14,82 %), т. е. наиболее активно подрост ели накапливается под пологом материнских древостоев, произрастающих на суглинистых влажных и супесчаных сырых почвах [8]. Это свидетельствует о том, что именно насаждения, произрастающие в лесорастительных условиях  $C_3$ , являются первоочередными объектами выборочных рубок. Распределение спелых и перестойных темнохвойных насаждений по обеспеченности подростом хвойных пород в зависимости от лесорастительных условий и относительной полноты древостоев показало, что в лесорастительных условиях  $C_3$  доля насаждений, имеющих под пологом подрост ели при полноте 0,6, составляет 33,8 %, при полноте 0,5 – 27,7 %, при полноте 0,4 – 24,8 %.

Таким образом, в целях накопления подрост при первом приеме рубки полнота древостоя должна снижаться до 0,6, при которой зафиксированы также лучшие показатели обеспеченности подростом в лесорастительных условиях  $B_4$ . В лесорастительных условиях  $A_4$ ,  $B_2$ ,  $B_5$  и  $C_4$  лучшей обеспеченностью подростом характеризуются насаждения с полнотой древостоев 0,5.

#### *Выводы*

1. В Средне-Уральском таежном лесном районе Пермского края темнохвойные насаждения являются основной лесной формацией, на долю которой приходится 55,3 % покрытой лесной растительностью площади.

2. Среди темнохвойных насаждений преобладают ельники, доля которых составляет 98,7 % их площади.

3. Распределение темнохвойных насаждений по классам возраста неравномерное. На долю насаждений 1-го класса возраста приходится 5,5 %, а на долю 7-го класса – 48,1 % общей площади темнохвойных насаждений, что свидетельствует о продолжающейся смене коренных хвойных насаждений на производные мягколиственные и необходимости более полного освоения расчетной лесосеки.

4. Темнохвойные насаждения характеризуются относительно высокой продуктивностью, 53,5 % их относится к III классу бонитета.

5. Доля низкополнотных (0,3–0,4) темнохвойных насаждений составляет 25,4 %, высокополнотных (0,8–1,0) – 6,7 %. Увеличение относительной полноты указанных насаждений можно рассматривать в качестве одного из направлений повышения продуктивности лесов.

6. Из общей площади спелых и перестойных темнохвойных насаждений в искусственном лесовосстановлении нуждается 9,22 %, в комбинированном – 37,49 %, в применении мер содействия естественному лесовозобновлению – 53,29 % их общей площади, в том числе в сохранении подрост при проведении лесосечных работ – 11,97 %.

7. Лучшей обеспеченностью подростом характеризуются спелые и перестойные темнохвойные насаждения с полнотой 0,6 и 0,5. На обеспеченность подростом, кроме полноты древостоев, оказывает влияние тип лесорастительных условий. Лучшей обеспеченностью подростом ели в лесорастительных условиях  $C_3$  и  $B_4$  характеризуются насаждения с полнотой 0,6, в лесорастительных условиях  $A_4$ ,  $B_2$ ,  $B_5$  и  $C_4$  – с полнотой 0,5.

8. Данные по обеспеченности спелых и перестойных темнохвойных насаждений подростом хвойных пород можно использовать при планировании способов лесовосстановления, а также выборочных рубок. Так, в насаждениях типа лесорастительных условий С<sub>3</sub> при первом приеме равномерно-постепенной рубки полноту древостоя можно снизить до 0,6, а в лесорастительных условиях В<sub>2</sub> – до 0,5.

9. Снижение относительной полноты при равномерно-постепенных и добровольно-выборочных рубках в темнохвойных насаждениях с лесорастительными условиями А<sub>4</sub>, В<sub>4</sub>, В<sub>5</sub> и С<sub>4</sub> до оптимальной для максимального накопления подростка следует производить в два приема во избежание ветровала.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дебков Н.М.* Лесоводственная оценка природного потенциала формирования целевых насаждений из подростка в южной тайге Западной Сибири: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М., 2013. 21 с.
2. *Луганский Н.А., Залесов С.В., Луганский В.Н.* Лесоведение: учеб. пособие. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2010. 432 с.
3. *Оплетаев А.С., Чермных А.И., Киришбаум А.Р.* Обеспеченность подростом предвзрослой генерации перестойных насаждений Челябинской области // *Успехи современного естествознания*. 2017. № 7. С. 42–46.
4. Приказ Минприроды России от 29.06.2016 № 375 «Об утверждении Правил лесовосстановления»: зарегистрировано в Минюсте России 15.11.2016 № 44342. Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_207285/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_207285/) (дата обращения: 20.13.18).
5. *Фомин В.В., Залесов С.В., Магасумова А.Г.* Методики оценки густоты подростка и древостоев при зарастании сельскохозяйственных земель древесной растительностью с использованием космических снимков высокого пространственного разрешения // *Аграр. вестн. Урала*. 2015. № 1(131). С. 25–29.
6. *Цветков В.Ф.* Лесной биогеоценоз. Архангельск, 2004. 268 с.
7. *Цветков В.Ф.* Лесовозобновление: природа, закономерности, оценка, прогноз. Архангельск: АГТУ, 2008. 212 с.
8. *Чмыр А.Ф.* Плавная смена поколений еловых лесов бореальной зоны России. СПб.: СПбНИИЛХ, 2001. 127 с.
9. *Aguilar-Amuchastegui N., Henebry G.M.* Assessing Sustainability Indicators for Tropical Forests: Spatio-Temporal Heterogeneity, Logging Intensity, and Dung Beetle Communities // *Forest Ecology and Management*. 2007. Vol. 253, iss. 1–3. Pp. 56–67. DOI: 10.1016/j.foreco.2007.07.004
10. *Allen C.D., Macalady A.K., Chenchouni H., Bachelet D., McDowell N., Venetier M., Kitzberger T., Rigling A., Breshears D.D., Hogg E.H., Gonzalez P., Fensham R., Zhang Zh., Castro J., Demidova N., Lim J.-H., Allard G., Running S.W., Semerci A., Cobb N.* A Global Overview of Drought and Heat-Induced Tree Mortality Reveals Emerging Climate Change Risks for Forests // *Forest Ecology and Management*. 2010. Vol. 259, iss. 4. Pp. 660–684. DOI: 10.1016/j.foreco.2009.09.001
11. *Fomin V.V., Zalesov S.V., Popov A.S., Mikhailovich A.P.* Historical Avenues of Research in Russian Forest Typology: Ecological, Phytocoenotic, Genetic, and Dynamic Classifications // *Canadian Journal of Forest Research*. 2017. Vol. 47, no. 7. Pp. 849–860. DOI: 10.1139/cjfr-2017-0011
12. *Gamfeldt L., Snäll T., Bagchi R., Jonsson M., Gustafsson L., Kjellander P., Ruiz-Jaen M.C., Fröberg M., Stendahl J., Philipson Ch.D., Mikusiński G., Andersson E., Westerlund B., Andrén H., Moberg F., Moen J., Bengtsson J.* Higher Levels of Multiple Ecosystem Services Are Found in Forests with More Tree Species // *Nature Communications*. 2013. Vol. 4, article no. 1340. DOI: 10.1038/ncomms2328
13. *Jactel H., Nicoll B.C., Branco M., Gonzalez-Olabarria J.R., Grodzki W., Långström B., Moreira F., Netherer S., Orazio Ch., Piou D., Santos H., Schelhaas M.J., Tojic K., Vodde F.* The Influences of Forest Stand Management on Biotic and Abiotic Risks of Damage // *Annals of Forest Science*. 2009. Vol. 66, iss. , article no. 701. DOI: 10.1051/forest/2009054

14. *Martin P.J., Browne-Clayton S., Taylor G.* A Results-Based System for Regulating Reforestation Obligations: Some Developments in 2003 // *The Forestry Chronicle*. 2004. Vol. 80, no. 2. Pp. 201–208. DOI: 10.5558/tfc80201-2

15. *Millar C.I., Stephenson N.L.* Temperate Forest Health in an Era of Emerging Mega-disturbance // *Science*. 2015. Vol. 349, iss. 6250. Pp. 823–826. DOI: 10.1126/science.aaa9933

16. *Verheyen K., Vanhellemont M., Auge H., Baeten L., Baraloto Ch., Barsoum N., Bilodeau-Gauthier S., Bruelheide H., Castagneyrol B., Godbold D., Haase J., Hector A., Jactel H., Koricheva J., Loreau M., Mereu S., Messier Ch., Muys B., Nolet Ph., Paquette A., Parker J., Perring M., Ponette Q., Potvin C., Reich P., Smith A., Weih M., Scherer-Lorenzen M.* Contributions of Global Network of Tree Diversity Experiments to Sustainable Forest Plantations // *Ambio*. 2016. Vol. 45, iss. 1. Pp. 29–41. DOI: 10.1007/s13280-015-0685-1

Поступила 01.10.18

UDC 630\*23:581.526.426.2

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.32

### Provision with Undergrowth of Mature and Overripe Dark Coniferous Stands in Perm Krai

*E.A. Vedernikov<sup>1</sup>*, Postgraduate Student; ResearcherID: [H-2642-2019](#),

ORCID: [0000-0002-8249-1143](#)

*S.V. Zalesov<sup>1</sup>*, Doctor of Agriculture, Prof.; ResearcherID: [H-2605-2019](#),

ORCID: [0000-0003-3779-410X](#)

*E.S. Zalesova<sup>1</sup>*, Candidate of Agriculture, Assoc. Prof.; ResearcherID: [H-1645-2019](#),

ORCID: [0000-0003-4403-8118](#)

*A.G. Magasumova<sup>1</sup>*, Candidate of Agriculture, Assoc. Prof.; ResearcherID: [H-1607-2019](#),

ORCID: [0000-0002-1727-2008](#)

*O.V. Tolkach<sup>2</sup>*, Doctor of Agriculture; ResearcherID: [M-4881-2018](#),

ORCID: [0000-0002-4530-3334](#)

<sup>1</sup>Ural State Forest Engineering University, Sibirskiy trakt, 37, Yekaterinburg, 620100, Russian Federation; e-mail: [wedernikow2008@yandex.ru](mailto:wedernikow2008@yandex.ru), [zalesov@usfeu.ru](mailto:zalesov@usfeu.ru), [kaly88@mail.ru](mailto:kaly88@mail.ru), [alfyam@rambler.ru](mailto:alfyam@rambler.ru)

<sup>2</sup>Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, ul. 8 Marta, 202a, Yekaterinburg, 620130, Russian Federation; e-mail: [tolkach\\_o\\_v@mail.ru](mailto:tolkach_o_v@mail.ru)

Provision with preliminary generation undergrowth of mature and overripe dark coniferous stands of the Middle Ural taiga forest region was analyzed based on the forest management materials' data of Krasnovisherskoye forestry (Perm krai). It has been found that dark coniferous stands are represented by spruce, fir, and cedar forests; which occupy 55.3 % of area covered with forest vegetation and 83.7 % of area covered with coniferous stands. Herewith, spruce forests occupy 98.7 % of the total area of dark coniferous stands, fir forests – 1.2 %, and cedar forests – 0.1 %. There are stands of the 5th and elder bonitet classes (65.4 %), 3rd and 4th classes (87.1 %) with the stand density of 0.5–0.7 (67.9 % from the total area) among dark coniferous stands. Spruce stands usually belong to the following types of forest sites (forest growth conditions): C<sub>3</sub> (66.2 %), B<sub>2</sub> (12.5 %) and B<sub>4</sub> (9.7 %). Under the canopy 90.8 % of mature and overripe dark coniferous stands' area is occupied by coniferous undergrowth, while its density exceeds 2.0 thousand pcs/ha on 12.0 % of the area. The maximum provision with undergrowth in the C<sub>3</sub> and B<sub>4</sub> forest growing conditions is characterized by mature and overripe dark coniferous stands with the relative density of 0.6, and in the A<sub>4</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>5</sub> and C<sub>4</sub> forest growing conditions – 0.5. The latter should be considered in selective logging and methods of reforestation schedule.

**For citation:** Vedernikov E.A., Zalesov S.V., Zalesova E.S., Magasumova A.G., Tolkach O.V. Provision with Undergrowth of Mature and Overripe Dark Coniferous Stands in Perm Krai. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2019, no. 3, pp. 32–42. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.32

**Keywords:** Middle Ural taiga forest region, dark coniferous stands, preliminary generation undergrowth, provision.

## REFERENCES

1. Debkov N.M. *Silvicultural Assessment of Formation Natural Potential of Target Forest Plantations from Undergrowth in the Southern Taiga of Western Siberia*: Cand. Agric. Sci. Diss. Abs. Moscow, 2013. 21 p.
2. Luganskiy N.A., Zalesov S.V., Luganskiy V.N. *Silviculture*. Yekaterinburg, USFEU Publ., 2010. 432 p.
3. Opletaev A.S., Chermnykh A.I., Kirshbaum A.R. Provision of Overmature Stands with Preliminary Generation Undergrowth in Chelyabinsk Region. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Advances in Current Natural Sciences], 2017, no. 7, pp. 42–46.
4. *Order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation on June 29, 2016, no. 375 "On the Approval of Reforestation Rules": Registered at the Ministry of Justice on November 15, 2016, no. 44342*. Available at: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_207285/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_207285/) (accessed 20.12.18).
5. Fomin V.V., Zalesov S.V., Magasumova A.G. Methods of Tree Stands Density Assessment of Agricultural Land Reforestation with the Use of Satellite Images with High Spatial Resolution. *Agrarnyj vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals], 2015, no. 1(131), pp. 25–29.
6. Tsvetkov V.F. *Forest Biogeocenosis*. Arkhangelsk., 2004. 268 p.
7. Tsvetkov V.F. *Reforestation: Nature, Regularities, Estimation, Forecast*. Arkhangelsk, ASTU Publ., 2008. 212 p.
8. Chmyr A.F. *Smooth Succession of Spruce Forests' Generations in the Russian Boreal Zone*. Saint Petersburg, SPbNILH Publ., 2001. 127 p.
9. Aguilar-Amuchastegui N., Henebry G.M. Assessing Sustainability Indicators for Tropical Forests: Spatio-Temporal Heterogeneity, Logging Intensity, and Dung Beetle Communities. *Forest Ecology and Management*, 2007, vol. 253, iss. 1–3, pp. 56–67. DOI: 10.1016/j.foreco.2007.07.004
10. Allen C.D., Macalady A.K., Chenchouni H., Bachelet D., McDowell N., Venetier M., Kitzberger T., Rigling A., Breshears D.D., Hogg E.H., Gonzalez P., Fensham R., Zhang Zh., Castro J., Demidova N., Lim J.-H., Allard G., Running S.W., Semerci A., Cobb N. A Global Overview of Drought and Heat-Induced Tree Mortality Reveals Emerging Climate Change Risks for Forests. *Forest Ecology and Management*, 2010, vol. 259, iss. 4, pp. 660–684. DOI: 10.1016/j.foreco.2009.09.001
11. Fomin V.V., Zalesov S.V., Popov A.S., Mikhailovich A.P. Historical Avenues of Research in Russian Forest Typology: Ecological, Phytocoenotic, Genetic, and Dynamic Classifications. *Canadian Journal of Forest Research*, 2017, vol. 47, no. 7, pp. 849–860. DOI: 10.1139/cjfr-2017-0011
12. Gamfeldt L., Snäll T., Bagchi R., Jonsson M., Gustafsson L., Kjellander P., Ruiz-Jaen M.C., Fröberg M., Stendahl J., Philipson Ch.D., Mikusiński G., Andersson E., Westerlund B., Andrén H., Moberg F., Moen J., Bengtsson J. Higher Levels of Multiple Ecosystem Services Are Found in Forests with More Tree Species. *Nature Communications*, 2013, vol. 4, article no. 1340. DOI: 10.1038/ncomms2328
13. Jactel H., Nicoll B.C., Branco M., Gonzalez-Olabarria J.R., Grodzki W., Långström B., Moreira F., Netherer S., Orazio Ch., Piou D., Santos H., Schelhaas M.J., Tojic K., Vodde F. The Influences of Forest Stand Management on Biotic and Abiotic Risks of Damage. *Annals of Forest Science*, 2009, vol. 66, iss. 7, article no. 701. DOI: 10.1051/forest/2009054
14. Martin P.J., Browne-Clayton S., Taylor G. A Results-Based System for Regulating Reforestation Obligations: Some Developments in 2003. *The Forestry Chronicle*, 2004, vol. 80, no. 2, pp. 201–208. DOI: 10.5558/tfc80201-2
15. Millar C.I., Stephenson N.L. Temperate Forest Health in an Era of Emerging Megadisturbance. *Science*, 2015, vol. 349, iss. 6250, pp. 823–826. DOI: 10.1126/science.aaa9933
16. Verheyen K., Vanhellefont M., Auge H., Baeten L., Baraloto Ch., Barsoum N., Bilodeau-Gauthier S., Bruelheide H., Castagneyrol B., Godbold D., Haase J., Hector A., Jactel H., Koricheva J., Loreau M., Mereu S., Messier Ch., Muys B., Nolet Ph., Paquette A., Parker J., Perring M., Ponette Q., Potvin C., Reich P., Smith A., Weih M., Scherer-Lorenzen M. Contributions of Global Network of Tree Diversity Experiments to Sustainable Forest Plantations. *Ambio*, 2016, vol. 45, iss. 1, pp. 29–41. DOI: 10.1007/s13280-015-0685-1

Received on October 01, 2018

УДК 630\*432.0

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.43

## ПРОТИВОПОЖАРНАЯ ПРОФИЛАКТИКА ЛЕСНЫХ ОБЪЕКТОВ

**В.П. Иванов, д-р биол. наук, проф.;** *ResearcherID: G-7378-2019, ORCID: 0000-0002-4997-5576*  
**С.И. Марченко, канд. с.-х. наук, доц.;** *ResearcherID: G-7754-2019, ORCID: 0000-0001-5107-6839*  
**Д.И. Нартов, канд. с.-х. наук, доц.;** *ResearcherID: G-7725-2019, ORCID: 0000-0001-6886-5914*  
Брянский государственный инженерно-технологический университет, просп. Станке  
Димитрова, д. 3, г. Брянск, Россия, 241037; e-mail: ivpinfo@mail.ru

Лесные пожары наносят экономике лесных стран значительный ущерб, который не всегда возможно представить конкретными цифрами. Предупреждение пожаров – одна из важнейших задач лесного хозяйства. Определенная последовательность операций на лесном объекте поможет реализации системного подхода при разработке и выполнении комплекса мер по обеспечению противопожарной профилактики объекта. Успех системы противопожарной безопасности зависит от эффективного анализа ситуации на момент ее разработки, который начинается с изучения состояния лесного фонда по материалам последнего лесоустройства. При натурных обследованиях осуществляется актуализация изменений в лесном фонде объекта, оцениваются своевременность и качество выполнения лесохозяйственных мероприятий и состояние противопожарной безопасности. Картографический материал противопожарного устройства объекта с указанием очередности и сроков выполнения мероприятий дает реальную информацию для оперативной работы. Апробация системы противопожарных мероприятий на примере Боровской лесной дачи Федерального государственного учреждения «Брянское военное лесничество» Министерства обороны Российской Федерации по разработанному единому алгоритму действий показала ее надежность и достаточно высокую эффективность.

**Для цитирования:** Иванов В.П., Марченко С.И., Нартов Д.И. Противопожарная профилактика лесных объектов // Лесн. журн. 2019. № 3. С. 43–54. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.43

**Ключевые слова:** лесной пожар, профилактика, противопожарное мероприятие, лесной объект, насаждение, пожароопасный период, класс пожарной опасности, натурное обследование, наглядная агитация, минерализованная полоса.

### Введение

Обеспечение пожарной безопасности в лесах лесохозяйственных предприятий является одной из важнейших государственных задач. Лесные пожары относятся к главным экологическим факторам негативного влияния на лес и экологическую ситуацию [28]. Ущерб, причиняемый экономике, экологии и здоровью населения лесных стран, весьма значителен. Возрастающие число и площади лесных пожаров ведут к деградации экосистем, образованию парниковых газов, повышению угрозы экономической безопасности лесного сектора [4, 6, 10, 11, 14, 19].

Увеличение числа лесных пожаров происходит в связи с многочисленными нарушениями населением и различными категориями работников правил пожарной безопасности [1, 8, 9]. Ситуация усугубляется из-за роста температуры воздуха и почвы при низкой относительной влажности, длительном отсутствии атмосферных осадков на фоне глобальных изменений климата и деградации природной среды [21–24, 26, 27].

В нашей стране борьбе с лесными пожарами уделяется значительное внимание на различных уровнях, однако проблема не становится менее острой, а число пожаров, потушенных в день обнаружения, снизилось всего на 20 % [3, 20]. В нормативных документах Российской Федерации по лесной пирологии обращает на себя внимание отсутствие системного подхода при разработке профилактических и предупредительных мер против возникновения лесных пожаров, хотя они и предусматривают различные мероприятия и содержат предложения по снижению горимости лесов.

Лесные пожары легче предотвратить, чем потушить, поэтому важнейшим направлением борьбы с ними является профилактическая работа, предусматривающая осуществление ряда лесоводственных и специальных мероприятий по созданию системы противопожарной безопасности лесных объектов. В некоторых разработках по профилактике пожаров предлагается создание эффективной нормативно-правовой базы в области охраны лесов от пожаров, которая закрепляет безусловное выполнение противопожарных мероприятий, так как результат их оптимален при сотрудничестве всех уровней власти на нормативно-правовой основе [7, 12].

Имеются предложения по реформированию лесопромышленного управления и внедрению новых мер борьбы с лесными пожарами: организация адресной интенсивной профилактической работы с населением с указанием плана действий и привлечением профильных специалистов [15, 17]; разработка рациональных планов мероприятий противопожарной профилактики в субъектах на основе результатов прогнозирования количества лесных пожаров с постановкой конкретных задач [16]; оптимальная маршрутизация наземного патрулирования [18]; инициирование осадков из мощных кучевых облаков в пожароопасный сезон с применением реагентов и технических средств [2] и др.

Определенные меры по профилактике лесных пожаров в различных условиях конкретизируются, однако отсутствие системного подхода в разработке и реализации комплекса противопожарных мероприятий в виде единого алгоритма профилактических действий делает эту работу не всегда эффективной.

Цель исследования – поиск оптимального и наиболее эффективного алгоритма действий по реализации системного подхода при выполнении комплекса мер противопожарной безопасности лесного объекта на основе анализа конкретной лесопирологической ситуации с использованием нормативной базы, научной литературы и разработок авторов.

#### *Объекты и методы исследования*

Система противопожарной безопасности лесного объекта в виде комплекса последовательных мероприятий выполнена и прошла апробацию на территории Федерального государственного учреждения «Брянское военное лесничество» (ФГУ БВЛ) Министерства обороны Российской Федерации, занимающего около 15 тыс. га в пределах Брянской и Калужской областей.

В качестве объекта реализации системного подхода при выполнении комплекса мер противопожарной безопасности выбрана территория Боровской лесной дачи ФГУ БВЛ, леса которой относятся к резервным лесам Министерства обороны РФ. Используются методы камерального анализа соответствующей документации, анализ научной литературы по конкретной тематике, выполнены натурные исследования насаждений. На основе этих материалов разработаны обоснованные рекомендации по снижению горимости лесов.

Первичная информация о состоянии лесного фонда получена из документов последнего лесоустройства (распределение по категориям земель, насаждений – по классам бонитета, относительной полноте, классам возраста, запасу древесины, типам лесорастительных условий и типам леса). Натурные исследования позволили актуализировать санитарно-лесопатологическое состояние насаждений, установить факторы, влияющие на повышение классов их пожарной опасности.

Территория объекта представлена компактным участком (574 га), расположенным восточнее г. Фокино (Брянская область), с густой сетью грунтовых дорог, в основном низкой проходимости; естественные водоемы отсутствуют. Наиболее распространены хвойные насаждения с преобладанием сосны, что увеличивает их пожарную опасность. Из лиственных пород в большей степени представлены береза, осина, древовидные ивы. Средний класс пожарной опасности насаждений (I, 9) достаточно высокий; низовые пожары возможны в течение всего пожароопасного сезона, верховые – в периоды пожарных максимумов. Покрытые лесом земли занимают свыше 400 га, не покрытая лесом площадь (более 100 га) представлена вырубками разных лет, которые относятся к I классу пожарной опасности. Нелесные земли представлены сенокосными угодьями, прогалинами, просеками, линиями электропередачи (ЛЭП), на которых возможны низовые пожары, и дорогами.

#### *Результаты исследования и их обсуждение*

Успех системы противопожарной безопасности зависит от эффективно-го анализа состояния лесного фонда, существующей системы противопожарной безопасности, лесных дорог, оперативной ситуации, наличия пожароопасных объектов на территории и вблизи лесной дачи. Разработка системы противопожарных мероприятий на лесном объекте должна осуществляться с учетом изменений общей динамики лесных экосистем. Начинать эту работу следует с изучения в камеральных условиях состояния лесного фонда объекта по материалам лесоустройства, которое включает анализ соотношения различных категорий земель, распределения древостоев по составу, классам бонитета, относительной полноте, классам возраста, запасу древесины, типам лесорастительных условий, типам леса. Весьма важна оценка санитарного и лесопатологического состояния насаждений.

Натурное обследование лесного фонда объекта позволяет провести актуализацию произошедших изменений, лесопирологический анализ насаждений по кварталам и выделам с учетом их состава, возраста, наличия и состояния лесных дорог, водоемов для пожаротушения, пожароопасных объектов. Анализ своевременности и качества выполнения лесохозяйственных мероприятий, рекомендованных последним лесоустройством (проведение рубок ухода, санитарных рубок, раз рубки квартальных просек, ликвидация куртин сухостоя, устройство противопожарных минерализованных полос, противопожарных разрывов, барьеров и т. д.), облегчит разработку противопожарных мероприятий. Для оперативной доставки людей и техники к местам возможных возгораний следует уделить внимание текущему ремонту лесных дорог или созданию новых, а также установке шлагбаумов на дорогах при въезде в лес, обустройству пожарных водоемов и путей подъезда к ним.

Классы природной пожарной опасности лесных насаждений, пирологическую характеристику древостоев определяют на основе перечисленных

факторов, причем повышает класс пожарной опасности насаждений близость дорог, автозаправочных станций, мест отдыха населения и др.

В комплексе рекомендуемых противопожарных мероприятий должны быть предусмотрены профилактические работы, включающие организационные и лесохозяйственные мероприятия, агитационно-разъяснительную работу, предупредительные мероприятия, организацию системы наблюдения и связи.

Профилактические противопожарные мероприятия на лесном объекте предполагают создание системы наблюдения с использованием вышек, мачт с видеокамерами для обзора территории объекта и прилегающих территорий. Автоматическое определение координат очагов возгорания средствами видеонаблюдения с использованием существующих вышек сотовых операторов связи, каналов связи, с возможностью интеграции в систему различных источников информации (спутниковых, метеоданных, данных пользователей и др.) повысит оперативность принятия решений. Доступ к системе может осуществляться через сеть Интернет, в том числе и мобильных устройств.

Оснащение сотрудников штатными средствами связи является необходимым звеном системы противопожарной безопасности лесного объекта. Для обеспечения наземного патрулирования и оперативной доставки работников к местам возгорания весьма важны разработка оптимальных маршрутов передвижения и наличие техники повышенной проходимости (вездеходы, квадроциклы и т. д.). Выполнению поставленных задач и разрешению возникающих непредвиденных ситуаций поможет оперативное оснащение соответствующих структур современной противопожарной техникой и многофункциональными лесохозяйственными агрегатами.

Большое значение имеет и системная профилактическая работа с сотрудниками лесохозяйственного объекта, организаций и предприятий, выполняющих работы в лесу, проводимая в виде инструктажей, бесед, обучения действиям при возникновении и тушении лесных пожаров. Агитационно-разъяснительную работу с населением в пожароопасный период в форме лекций, бесед по противопожарной тематике следует выстраивать с учетом возрастных и социальных особенностей групп населения, уделяя особое внимание профилактической работе с молодежью.

Наглядная агитация в виде плакатов, аншлагов, витрин противопожарной тематики с указанием на них номеров телефонов для сообщения о пожарах, размещенная вдоль дорог, в местах массового посещения лесов жителями в населенных пунктах (около учебных заведений, клубов, магазинов, мест торговли) повысит эффективность и оперативность действий в рамках создаваемой системы противопожарной безопасности.

Профилактическая работа в пожароопасный период должна предусматривать выступление специалистов лесного хозяйства и МЧС по местному радио и телевидению, рассылку информации посредством SMS-сообщений, содержащие разъяснения об ответственности за нарушения правил пожарной безопасности в лесу и о последствиях лесных пожаров для леса, населения и экологической ситуации в регионе.

Важным этапом в создании системы противопожарной безопасности является установление и поддержание деловых контактов со смежными организациями, что в случае возникновения лесных пожаров позволит улучшить оперативное обеспечение людьми и техникой при тушении.

Реализация системного подхода при разработке комплекса мер противопожарной безопасности на примере Боровской лесной дачи по результатам предварительных камеральных и натурных исследований показала, что территория в целом достаточно организована последним лесоустройством. Несанкционированных свалок на территории дачи не обнаружено. Участки леса представлены четырьмя типами лесорастительных условий. Наибольшие площади занимают свежие простые субори (56,1 %) с преобладанием древостоев II-го класса пожарной опасности. Доминируют сосновые насаждения (81,1 %) и ельники (11,4 %). Установлены увеличение площади спелых насаждений, накопление в них сухостойных деревьев, наличие хвойных молодняков (на площади 54,7 га), повышающих пожарную опасность объекта.

Особенностью лесной дачи является воздействие на насаждения выбросов АО «Мальцовский портландцемент» с концентрацией щелочных частиц до 3,5 ПДК и оксидов азота – до 1,3 ПДК. Это приводит к уменьшению кислотности верхних почвенных генетических горизонтов и, как следствие, к увеличению микробиологической активности почвенной микрофлоры и производительности насаждений с преобладанием сосны на бедных дерново-подзолистых почвах. С другой стороны, снижение доступных форм марганца на фоне довольно высокого его валового содержания в почве ослабляет женскую генеративную сферу сосны [25], что отражается на санитарном состоянии насаждений и повышает их пожарную опасность.

Санитарное состояние насаждений ухудшается также от воздействия газообразных и пылевых загрязнений промышленных предприятий г. Фокино [13], падения уровня грунтовых вод при разработке карьеров, наличия аномально засушливых вегетационных периодов [5], лесных пожаров, несвоевременного проведения санитарных мероприятий. Ситуацию осложняют процессы передачи земель лесной дачи под разработку карьеров и добычу сырья для производства цемента, изменение их площадей и границ. Не всегда качественная рекультивация участков карьеров созданием на них культур сосны с возвращением их в фонд ФГУ БВЛ не способствует оптимизации пожарной безопасности лесного объекта. К тому же происходит увеличение площади хвойных пожароопасных молодняков.

В процессе натурных обследований объекта осуществлен лесопирологический анализ, определены классы природной пожарной опасности насаждений по кварталам и выделам с учетом состава, возраста и пирологической характеристики; проведена актуализация лесоводственно-таксационных показателей насаждений.

Постепенное накопление сухостоя, возрастающая захламленность территории лесной дачи (до 20 м<sup>3</sup> в отдельных кварталах), несмотря на достаточно высокую потенциальную продуктивность и устойчивость древостоев, характеризуют санитарное состояние насаждений объекта как не вполне удовлетворительное. Например, в насаждениях с преобладанием ели ситуацию усугубляет поражение ее короедом-типографом, ядровой стволовой гнилью и корневой гнилью от еловой губки и бактериальным раком в спелых насаждениях. Это способствует ветровалу и бурелому, увеличению захламленности, снижению класса товарности и противопожарных свойств насаждений. Ельники наиболее ослаблены в возрасте 60–100 лет, что отражает влияние климатических и техногенных факторов; санитарные мероприятия не остановили снижение устойчивости, а наличие сухостоя повысило пожарную опасность.

При анализе противопожарного устройства территории Боровской лесной дачи было выявлено отсутствие плана противопожарных мероприятий на пожароопасный сезон. На объекте отсутствовали противопожарные разрывы и барьеры, а немногие существующие минерализованные полосы заросли травой и своих функций не выполняли. Отсутствовали противопожарная техника и многофункциональные лесохозяйственные агрегаты, аншлаги с противопожарной тематикой, шлагбаумы на дорогах при въезде в лес. Дороги на территории лесной дачи, разбитые лесовозной техникой, малоприспособлены для использования.

Повышали пожарную опасность объекта примыкание хвойных молодняков смежных предприятий и отсутствие каких-либо преград проникновению лесного пожара с их территории. Выявленные факты оставления древесины на вырубках, порубочных остатков после несанкционированных рубок усугубляли ситуацию. Установлено, что уничтожение собранных в кучи порубочных остатков огнем способом становится причиной возникновения лесных пожаров. Следы очагов возгорания обнаружены по границам ЛЭП, вдоль дорог по трассе ЛЭП. Отсутствие средств передвижения и мобильной связи у лесной охраны снижает оперативность обнаружения пожаров, незаконных рубок и других лесонарушений.

Комплекс камеральных работ, натурные обследования позволили охарактеризовать противопожарное устройство территории Боровской лесной дачи ФГУ БВЛ как неудовлетворительное. Проведенные исследования послужили основанием для разработки системы противопожарной безопасности в ее лесах (см. рисунок).

Предупреждение лесных пожаров возможно путем повышения пожарной устойчивости лесов лесохозяйственными мероприятиями, а именно: регулированием видового состава, своевременным проведением рубок ухода, санитарных рубок, очисткой леса от захламленности, введением (интродукцией) подлесочных пород в хвойные древостои, скашиванием травы на границе объекта.

На лесохозяйственных объектах в начале сезона разрабатывается мобилизационный план, который является основой действий в пожароопасный период, однако его разработка для данного режимного объекта, расположенного на территории двух областей и состоящего из нескольких разрозненных лесных дач, осложнена. Поэтому, помимо общих рекомендаций по объекту, необходимы конкретные предложения для каждой лесной дачи.

Для оперативного решения вопросов по обнаружению, локализации и ликвидации лесных пожаров на территории объекта обоснован алгоритм проведения следующего комплекса противопожарных мероприятий:

организационные мероприятия – повышение квалификации работников лесной охраны по соответствующей программе на базе профильного учебного заведения; расчистка заросших квартальных просек; оснащение предприятия современной противопожарной техникой и многофункциональными лесохозяйственными агрегатами, средствами передвижения повышенной проходимости; разработка оптимальных маршрутов наземного патрулирования в период повышенной пожарной опасности (возможно с привлечением волонтеров); ремонт дорог для осуществления оперативной доставки сил и средств пожаротушения к местам возгорания; обоснование целесообразности фрагментации территории лесной дачи для предотвращения быстрого распространения низового пожара.



Эти мероприятия рекомендовано учитывать при разработке мобилизационного плана по обнаружению и тушению лесных пожаров, ежегодно составляемого за месяц до начала пожароопасного сезона;

лесоводственные мероприятия – очистка от захламленности участков леса; проведение рубок ухода, обеспечивающих формирование насаждений с долевым участием в составе не менее 5 ед. лиственных пород, что снизит пожарную опасность насаждений и защитит их от поражения корневой губкой; проведение выборочных санитарных рубок в целях ликвидации куртин свежего сухостоя;

предупредительные и профилактические мероприятия – создание системы минерализованных полос, противопожарных разрывов и барьеров; использование полос отчуждения линейных объектов в качестве противопожарных разрывов путем формирования минерализованных полос по их внешним границам; опашка монокультур хвойных пород I-го класса возраста, представляющих наибольшую пожарную опасность; установка шлагбаумов на дорогах при въезде в лес для ограничения посещения его населением в пожароопасный период и аншлагов противопожарной тематики; установка мачты с видеокамерой; за месяц до начала пожароопасного сезона рекомендовано чтение лекций, проведение бесед по противопожарной тематике в образовательных учреждениях населенных пунктов, примыкающих к территории лесной дачи.

#### *Заключение*

Начиная с 2010 г., после внедрения предлагаемого алгоритма действий на территории ФГУ БВЛ, фиксировалось до трех возгораний в год (например, в 2016 г. зафиксирован лишь один пожар на незначительной площади). Таким образом, реализация системного подхода при выполнении комплекса мер противопожарной безопасности на территории объекта как единого алгоритма эффективных организационных, лесохозяйственных, предупредительных и профилактических мероприятий оказалась достаточно надежной и эффективной, что значительно снизило число лесных пожаров.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Арцыбашев Е.С.* Планирование, организация и техника борьбы с лесными пожарами // Тр. СПбНИИЛХ. 2014. № 3. С. 56–62.
2. *Гончаров И.В., Тертышников А.В.* Профилактика лесных пожаров // Экология и промышленность России. 2003. № 6. С. 31–32.
3. *Елдышев Ю.Н.* Как противостоять лесным пожарам // Экология и жизнь. 2010. № 8. С. 22–25.
4. *Ерицов А.М., Волков С.Н., Ломов В.Д.* Катастрофические лесные пожары последних лет // Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 2016. Т 20. № 5. С. 106–110.
5. *Иванов В.П., Марченко С.И., Глазун И.Н., Нартов Д.И., Соболева Л.М.* Изменения в биогеоценозах центральной части Брянской области после летней жары 2010 года // Вестн. ПГТУ. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2013. № 1. С. 25–35.
6. *Клюев Г.В.* Исследование факторов, влияющих на возникновение лесных пожаров // Наука и бизнес: пути развития. 2013. № 2(20). С. 44–46.
7. *Ковязин В.Ф., Ханмирзаев Э.А.* Влияние пожаров на лесные экосистемы // Безопасность жизнедеятельности. Прил. 2013. № 12. С. 6–9.

8. Константинов А.В., Морковина В.В. Лесные пожары как наиболее значимая угроза экономической безопасности лесного сектора // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2016. Т. 4, № 2(22). С. 319–325.

9. Мазуркин П.М. Анализ пожаров в лесных кварталах (по лесничествам) // Вестн. Воронеж. ин-та ГПС МЧС России. 2016. № 3(20). С. 36–50.

10. Матвеева Т.А., Матвеев А.М. Экологическая роль лесных пожаров // Успехи современного естествознания. 2012. № 10. С. 107–109.

11. Олтян И.Ю., Коровин А.И. Лесные пожары 2010: прогноз и статистика // Проблемы анализа риска. 2010. Т. 7, № 4. С. 58–65.

12. Паламарчук Н.С. Неудовлетворительная охрана лесов от пожаров в субъектах Российской Федерации как одна из самых глобально-актуальных и злободневных проблем современности: причины, пути решения // Пробелы в российском законодательстве. 2012. № 2. С. 128–131.

13. Паничева Д.М. Состояние хвойных насаждений зоны широколиственных лесов и репродукция сосны обыкновенной в условиях промышленного загрязнения (на примере северо-западной части Брянской области): автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Брянск, 2009. 22 с.

14. Порфирьев Б.Н. Лесные пожары и развитие лесной отрасли: возможности инвестиционного маневра // ЭКО. 2013. № 11(473). С. 53–64. DOI: 10.30680/ECO0131-7652-2013-11-53-64

15. Почтаева М.В., Иплаев М.Д. Повышение эффективности профилактики лесных пожаров // Вестн. ПГТУ. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2014. № 1(21). С. 42–52.

16. Рыбаков А.В., Дрожжин Н.А. Постановка задачи разработки рационального плана проведения мероприятий противопожарной профилактики в субъекте // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. 2016. № 1(28). С. 29–35.

17. Сарсембенова О.Ж. Профилактика лесных пожаров // Науч. альманах. 2016. № 3-3(17). С. 160–163. DOI: 10.17117/na.2016.03.03.160

18. Ушанов С.В., Фадеенков О.В. Оптимальная маршрутизация при управлении борьбой с лесными пожарами: моногр. Красноярск: СибГТУ, 2009. 128 с.

19. Халявкин Б.В. Лесные пожары как современная проблема в России // Наука и современность. 2013. № 23. С. 143–153.

20. Ярош Г.Ф. Лесные пожары как угроза национальной безопасности России // Вестн. Саратов. гос. юрид. акад. 2016. № 3(110). С. 199–202.

21. Bouguenaya N., Benyahia M., Bouzidi M. Synopsis of Fire's Forest in the Province of Sidi Bel Abbes. Analysis and Cartography // Journal of Agricultural Science and Technology. 2013. Vol. 3. Pp. 745–750.

22. Derome J., Lukina N. Interaction between Environmental Pollution and Land-Cover/Land Use Change in Arctic Areas. Ch. 11: Eurasian Arctic Land Cover and Land Use in a Changing Climate / ed. by G. Gutman, A. Reissel. Netherlands: Springer, 2011. Pp. 269–289. DOI: 10.1007/978-90-481-9118-5

23. Flannigan M.D., Krawchuk M.A., de Groot W.J., Wotton B.M., Gowman L.M. Implications of Changing Climate for Global Wildland Fire // International Journal of Wildland Fire. 2009. Vol. 18, no. 5. Pp. 483–507. DOI: 10.1071/WF08187

24. Harris T.B., Rajakaruna N., Nelson S.J., Vaux P.D. Stressors and Threats to the Flora of Acadia National Park, Maine: Current Knowledge, Information Gaps, and Future Directions // JSTOR. 2012. Vol. 139, no. 3. Pp. 323–344.

25. Ivanov Yu.V., Kartashov A.V., Ivanova A.I., Ivanov V.P., Marchenko S.I., Nartov D.I., Kuznetsov V.V. Long-Term Impact of Cement Plant Emissions on the Elemental Composition of Both Soils and Pine Stands and on the Formation of Scots Pine Seeds // Environmental Pollution. 2018. Vol. 243, part B. Pp. 1383–1393. DOI: 10.1016/j.envpol.2018.09.099

26. Kukavskaya E.A., Soja A.J., Petkov A.P., Ponomarev E.I., Ivanova G.A., Conard S.G. Fire Emissions Estimates in Siberia: Evaluation of Uncertainties in Area Burned, Land Cover, and Fuel Consumption // *Canadian Journal of Forest Research*. 2013. Vol. 43, no. 5. Pp. 493–506. DOI: 10.1139/cjfr-2012-0367

27. Taulavuori K., Laine K., Taulavuori E. Experimental Studies on *Vaccinium myrtillus* and *Vaccinium vitis-idaea* in Relation to Air Pollution and Global Change at Northern High Latitudes: A Review // *Environmental and Experimental Botany*. 2013. Vol. 87. Pp. 191–196. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2012.10.002

28. *Vegetation Fires and Global Change* / ed. by J.G. Goldammer. Germany: Kessel Publishing House, 2013. 400 p.

Поступила 28.06.18

UDC 630\*432.0

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.43

### Fire Prevention Measures for Forest Sites

**V.P. Ivanov**, Doctor of Biology, Prof.; *ResearcherID: G-7378-2019*, *ORCID: 0000-0002-4997-5576*  
**S.I. Marchenko**, Candidate of Agriculture, Assoc. Prof.; *ResearcherID: G-7754-2019*,  
*ORCID: 0000-0001-5107-6839*

**D.I. Nartov**, Candidate of Agriculture, Assoc. Prof.; *ResearcherID: G-7725-2019*,  
*ORCID: 0000-0001-6886-5914*

Bryansk State Engineering and Technological University, prosp. Stanke Dimitrova, 3, Bryansk, 241037, Russian Federation; e-mail: ivpinfo@mail.ru

Forest fires cause significant damage to the countries' economy, which is not always possible to be represented by specific numbers. The forest fires' prevention is one of the high-priority issues of forestry. A certain operation sequence at a forest site will help in implementing the system approach in the development and implementation of a set of measures to ensure fire prevention of the forest site. The success of the fire safety system depends on the effective analysis of situation at the time of its development, which begins with the study of the forest fund state based on the latest forest management measures. Changes in the forest fund of the forest site are updated at field observation. Timelines and standard of forestry measures' performance are assessed, as well as the state of fire safety on the forest site. The fire prevention management cartographic document of the site with indication of order and timing of actions gives real information for operational staff work. Testing the system of fire prevention measures on the example of the Borovskaya Forest Dacha of the Bryansk Military Forestry according to the developed uniform algorithm of effective actions has shown its reliability and sufficiently high efficiency.

**For citation:** Ivanov V.P., Marchenko S.I., Nartov D.I. Fire Prevention Measures for Forest Sites. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2019, no. 3, pp. 43–54. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.43

**Keywords:** forest fire, prevention, fire prevention measures, forest site, forest stand, fire season, fire class, field observation, fire prevention visual propaganda, fire line.

### REFERENCES

1. Artsybashev E.S. Planning, Organization and Equipment to Combat Forest Fires. *Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyaystva* [Proceedings of the Saint Petersburg Forestry Research Institute], 2014, no. 3, pp. 56–62.

2. Goncharov I.V., Tertyshnikov A.V. Prevention of Forest Fires in Moscow Province. *Ekologia i promyshlennost Rossii* [Ecology and Industry of Russia], 2003, no. 6, pp. 31–32.
3. Eldyshev Yu.N. Forest Fires – Ways to Resist Them. *Ekologiya i zhizn'* [Ecology and Life], 2010, no. 8, pp. 22–25.
4. Erisov A.M., Lomov V.D., Volkov S.N. Recent Catastrophic Forest Fires. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 2016, vol. 20, iss. 5, pp. 106–110.
5. Ivanov V.P., Marchenko S.I., Glazun I.N., Nartov D.I., Soboleva L.M. Biogeocenosis Changes in Central Part of the Bryansk Region after Hot Summer-2010. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovaniye* [Vestnik of Volga State University of Technology. Series: Forest. Ecology. Nature Management], 2013, no. 1, pp. 25–35.
6. Klyuev G.V. Investigation of the Factors Influencing the Occurrence of Forest Fires. *Nauka i biznes: puti razvitiya* [Science and Business: Ways of Development], 2013, no. 2(20), pp. 44–46.
7. Kovyazin V.F., Khanmirzaev E.A. Impact of Fires in Forest Ecosystems. *Bezopasnost' zhiznedeatel'nosti: Prilozhenie* [Life Safety: Supplement to the Journal], 2013, no. 12, pp. 6–9.
8. Konstantinov A.V., Morkovina V.V. Forest Fires as the Most Significant Threat to the Economic Security of the Forest Sector. *Aktual'nyye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika*, 2016, vol. 4, iss. 2, pp. 319–325.
9. Mazurkin P.M. The Analysis of Forest Fires on Forest Quarters on Forestry. *Vestnik Voronezhskogo instituta GPS MCHS Rossii* [Bulletin of the Voronezh Institute of the State Fire Service of the Emergencies Ministry of Russia], 2016, no. 3 (20), pp. 36–50.
10. Matveyeva T.A., Matveyev A.M. Ecological role of forest fires. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Advances in Current Natural Sciences], 2012, no. 10, pp. 107–109.
11. Oltyan I.Yu., Korovin A.I. Forest Fires 2010: Forecast and Statistic. *Problemy analiza riska* [Issues of Risk Analysis], 2010, vol. 7, no. 4, pp. 58–65.
12. Palamarchuk N.S. Inadequate Protection of Forests from Fires in the Russian Federation as One of the Most Pressing Global Issues of the Present: Causes and Solutions. *Probely v rossiyskom zakonodatel'stve* [Gaps in Russian legislation], 2012, no. 2, pp. 128–131.
13. Panicheva D.M. *The State of Coniferous Plantations of the Deciduous Forests' Zone and Reproduction of Scots Pine in Industrial Pollution Conditions (On the Example of the Northwestern Part of Bryansk Region)*: Cand. Agric. Sci. Diss. Abs. Bryansk, 2009. 22 p.
14. Profiriev B.N. Forest Fires and Forestry Development: Opportunities for Investment Maneuver. *EKO* [ECO], 2013, no. 11(473), pp. 53–64. DOI: 10.30680/ECO0131-7652-2013-11-53-64
15. Pochitaeva M.V., Iplaev M.D. Efficiency Improvement of Forest Fire Control. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovaniye* [Vestnik of Volga State University of Technology. Series: Forest. Ecology. Nature Management], 2014, no. 1(21), pp. 42–52.
16. Rybakov A.V., Drozhzhin N.A. Problem Development of the Optimal Plan of Fire Prevention Activities in the Region. *Nauchnyye i obrazovatel'nyye problemy grazhdanskoy zashchity* [Scientific and Educational Problems of the Civil Defence], 2016, no. 1(28), pp. 29–35.
17. Sarsembenova O.Zh. Prevention of Forest Fires. *Nauchnyy al'manakh* [Science Almanac], 2016, no. 3, pp. 160–164. DOI: 10.17117/na.2016.03.03.160
18. Ushanov S.V., Fadeyenko O.V. *Optimal Routing in Forest Fire Prevention Management*: Monography. Krasnoyarsk, SibGTU Publ., 2009, 128 p.

19. Khalyavkin B.V. Forest Fires as an Actual Issue in Russia. *Nauka i sovremennost'* [Science and Modernity], 2013, no. 23, pp. 143–153.

20. Yarosh G.F. Forest Fires as Threat to National Security of Russia. *Vestnik Saratovskoy gosudarstvennoy yuridicheskoy akademii* [Saratov State Law Academy Bulletin], 2016, no. 3(110), pp. 199–202.

21. Bouguenaya N., Benyahia M., Bouzidi M. Synopsis of Fire's Forest in the Province of Sidi Bel Abbes. Analysis and Cartography. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2013, vol. 3, pp. 745–750.

22. Derome J., Lukina N. Interaction between Environmental Pollution and Land-Cover/Land Use Change in Arctic Areas. Ch. 11. *Eurasian Arctic Land Cover and Land Use in a Changing Climate*. Ed. by G. Gutman, A. Reissel. Netherlands, Springer, 2011, pp. 269–289. DOI: 10.1007/978-90-481-9118-5

23. Flannigan M.D., Krawchuk M.A., de Groot W.J., Wotton B.M., Gowman L.M. Implications of Changing Climate for Global Wildland Fire. *International Journal of Wildland Fire*, 2009, vol. 18, no. 5, pp. 483–507. DOI: 10.1071/WF08187

24. Harris T.B., Rajakaruna N., Nelson S.J., Vaux P.D. Stressors and Threats to the Flora of Acadia National Park, Maine: Current Knowledge, Information Gaps, and Future Directions. *JSTOR*, 2012, vol. 139, no. 3, pp. 323–344.

25. Ivanov Yu.V., Kartashov A.V., Ivanova A.I., Ivanov V.P., Marchenko S.I., Nartov D.I., Kuznetsov V.V. Long-Term Impact of Cement Plant Emissions on the Elemental Composition of Both Soils and Pine Stands and on the Formation of Scots Pine Seeds. *Environmental Pollution*, 2018, vol. 243, part B, pp. 1383–1393. DOI: 10.1016/j.envpol.2018.09.099

26. Kukavskaya E.A., Soja A.J., Petkov A.P., Ponomarev E.I., Ivanova G.A., Conard S.G. Fire Emissions Estimates in Siberia: Evaluation of Uncertainties in Area Burned, Land Cover, and Fuel Consumption. *Canadian Journal of Forest Research*, 2013, vol. 43, no. 5, pp. 493–506. DOI: 10.1139/cjfr-2012-0367

27. Taulavuori K., Laine K., Taulavuori E. Experimental Studies on *Vaccinium myrtillus* and *Vaccinium vitis-idaea* in Relation to Air Pollution and Global Change at Northern High Latitudes: A Review. *Environmental and Experimental Botany*, 2013, vol. 87, pp. 191–196. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2012.10.002

28. *Vegetation Fires and Global Change*. Ed. by J.G. Goldammer. Germany, Kessel Publishing House, 2013. 400 p.

Received on June 28, 2018

---

УДК 630\*:581.55(470.620)

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.55

## СОСТОЯНИЕ ЛЕСНЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ СКЛОНОВЫХ ЗЕМЕЛЬ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ

*Н.В. Примаков, канд. с.-х. наук, доц.; ORCID: 0000-0001-9225-024X*

Кубанский государственный университет, ул. Ставропольская, д. 149, г. Краснодар, Россия, 350040; e-mail: nik-primakov@yandex.ru

Рельеф выступает основным фактором дифференциации как ландшафтов, так и растительного покрова. На территории Горячеключевского участкового лесничества (в районе пос. Транспортный) в условиях предгорно-холмистого рельефа проведены исследования природы леса, его отдельных компонентов, признаков древостоя, основных таксационных характеристик, лесных насаждений, определено их экологическое состояние в настоящее время в связи с изменением рельефа местности. Осуществлены рекогносцировочные маршруты на склонах и выбраны типичные места их расположения (варианты): на вершине, в средней и нижней частях склона. К важным элементам лесных фитоценозов относится лесная подстилка, при исследовании которой учитывались ее мощность и состав. При изучении лесных массивов склоновых земель произведен учет естественного возобновления (высота, состояние и положение подроста). В целом состояние склоновых земель в районе исследования можно считать удовлетворительным, насаждения выполняют свои защитные функции. Полученные результаты свидетельствуют о том, что с уменьшением высоты склона ухудшаются таксационные показатели древостоя (средние высота, диаметр), экологическое состояние, понижается его бонитет. В зависимости от высоты склона распределение подроста по высоте и породному составу претерпевает существенные изменения. В количественном отношении разницы по вариантам не установлено, в верхней части склона большая часть подроста различного состояния находится в окнах полога и произрастает одиночно.

**Для цитирования:** Примаков Н.В. Состояние лесных фитоценозов склоновых земель Краснодарского края // Лесн. журн. 2019. № 3. С. 55–63. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.55

*Ключевые слова:* лес, рельеф, экологическое состояние, лесная экосистема, естественное возобновление, лесной фитоценоз, таксационные характеристики, бонитет, состав насаждения, подрост.

### *Введение*

Лесной фонд занимает более трети территории Российской Федерации. Владение, пользование и распоряжение лесным фондом и не входящими в его состав лесами осуществляется с учетом их глобального экологического значения, воспроизводства, длительности выращивания и иных природных свойств леса [3].

Рельеф и литогенная основа, как известно, в определенных гидротермических условиях выступают основными факторами дифференциации как ландшафта в целом, так и растительного покрова в частности. Особенно ярко эта дифференцирующая роль проявляется в горах, в условиях сложной морфологии поверхности [6].

К основным факторам прямого и косвенного влияния рельефа на распределение растительного покрова можно отнести вертикальную зональность; экспозицию, определяющую степень нагрева и освещения; влажность и движение воздушных масс; распределение влажности почвы; перераспределение содержания питательных веществ в почве от вершины к подножию склона.

С точки зрения влияния рельефа на природные процессы и явления, определяющие структуру биоценозов, к наиболее значимым характеристикам

рельефа относятся: абсолютная высота, углы наклона поверхности (крутизна склонов) и экспозиции склонов. В горах с абсолютной высотой связан набор климатических показателей (состав и количественные характеристики солнечной радиации, температура воздуха, количество осадков, циркуляционный режим и др.) и, следовательно, почвенно-растительный покров.

Высота растительности служит важнейшей таксационной характеристикой, которая отражает возраст фитоценозов, определяет класс бонитета и косвенно тип растительности. В условиях горного рельефа угол наклона земной поверхности – один из ключевых факторов локальной дифференциации элементов ландшафта, включающих растительность. Авторы работы [15] утверждают, что уклоны местности не оказывают воздействия на высоту древостоя. По данным анализа некоторых «фитогеоморфологических переменных» авторы [12] приходят к выводу, что уменьшение крутизны поверхности оказывает положительный эффект на увеличение продуктивности лесной растительности, на высоту и диаметр насаждений. Таким образом, в литературе встречаются противоречия в оценке влияния рельефа и других факторов на основные таксационные характеристики древостоя [9–11, 13, 14].

Цель исследования – изучение природы леса, его отдельных компонентов, признаков древостоя, основных таксационных характеристик лесных насаждений и определение их экологического состояния в современных условиях в связи с изменением рельефа местности.

#### *Объекты и методы исследования*

Исследование проводилось в южной предгорной части Краснодарского края (г. Горячий Ключ, пос. Транспортный). Координаты района исследований: 44°33'58" с. ш. и 39°18'42" в. д. Рельеф – предгорно-холмистый, пересечен долинами рек и балками. Климат – умеренно-континентальный, более влажный, чем на Прикубанской низменности. Среднегодовая температура воздуха – 10,8 °С. Осадки распределяются неравномерно, среднегодовое количество осадков – 950 мм. Количество солнечных дней в году – 90. Основной элемент гидрографической сети – бассейн р. Апчас, среднегодовой расход воды в которой в районе Горячего Ключа – 14,2 м<sup>3</sup>/с, площадь бассейна – 550 м<sup>2</sup>. Ветровой режим имеет горно-долинный характер, преобладающие направления – юго-западное и западное.

Разнообразие почв определяется руслом р. Апчас, а также предгорно-холмистым рельефом. Основные виды почв: серые лесные, бурые горно-лесные, дерново-карбонатные, луговые. Почвообразующие породы: делювиальные и пролювиальные отложения, местами карбонаты и гипсоносные отложения.

Растительность: лиственные леса и кустарниковый подлесок. Район покрыт лесом, за исключением отдельных участков по долинам малых рек. Наиболее типичная древесная растительность: бук лесной (*Fagus sylvatica* L.), дуб черешчатый (*Quercus robur* L.), граб обыкновенный (*Carpinus betulus* L.), реже осина (*Populus tremula* L.), ольха серая (*Alnus incana* L.), дикая груша (*Pyrus communis* L.), яблоня лесная (*Malus sylvestris* Mill.), каштан съедобный (*Castanea sativa* Mill.), ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior* L.), клен остролистный (*Acer platanoides* L.), грецкий орех (*Juglans regia* L.). В верховьях р. Апчас встречается пихта обыкновенная (*Abies alba* Mill.), из кустарников –

шиповник собачий (*Rosa canina* L.) и терн (*Prunus spinosa* L.). В долине реки, в прирусленной части, отмечены ольха черная (*Alnus glutinosa* L.), тополь белый (*Populus alba* L.), ива козья (*Salix caprea* L.) с подлеском из лещины новенной (*Corylus avellana* L.), бузины черной (*Sambucus nigra* L.), бересклета бородавчатого (*Euonymus verrucosa* Scop.), хмеля обыкновенного (*Humulus lupulus* L.), свидины кроваво-красной (*Cornus sanguinea* L.) и др.

Перед выбором вариантов исследований были проведены рекогносцировочные маршруты, затем определены типичные места их расположения: на вершине склона восточной экспозиции (вариант 1), на средней (вариант 2) и нижней (вариант 3) частях склона. На всех местах расположения в лесных фитоценозах закладывали временные пробные площади (ПП) тренировочного вида по ОСТ 56-69-83 [5], исходя из наличия на ПП не менее 200 деревьев основной породы. По данным таксации определяли: происхождение главных и встречающихся пород, их средние высоту и диаметр, количество стволов, вид лесных насаждений, бонитет, состав насаждений, мощность лесной подстилки, отдельно учитывали естественное возобновление (подрост). Средние диаметр и высоту находили в результате сплошного перечета деревьев, их состояние устанавливали по шкале санитарного состояния [7]: 1 – без признаков ослабления; 2 – ослабленные; 3 – сильно ослабленные; 4 – усыхающие; 5 – сухостой текущего года; 6 – сухостой прошлых лет. Мощность лесной подстилки определяли по методу А.А. Молчанова. На две опоры укладывали метровую рейку в горизонтальном положении и через каждые 10 см определяли расстояние от рейки до поверхности подстилки. Затем подстилку удаляли и в тех же точках производили повторный замер, теперь уже от рейки до почвы. Разность замеров в каждой точке – мощность слоя подстилки (повторность 10-кратная). Для изучения естественного возобновления древесных пород на каждой ПП закладывали не менее 10 учетных площадок размером 2×2 м. Учитывали высоту подроста, состояние (благонадежный, сомнительный, неблагонадежный), размещение (одиночный, групповой).

#### Результаты исследования и их обсуждение

Результаты исследования представлены в табл. 1.

Таблица 1

#### Средние значения некоторых таксационных характеристик насаждений по частям склона

Часть склона	Состав насаждения*	Высота, м	Диаметр, см	Бонитет	Санитарное состояние
Вершина	4Дч2Бко1Олс 1Кло1Го1Яо	14,34	20,61	III	4
Средняя	8Дч2Бко	12,20	16,40	III	3
Нижняя	6Дч2Бко2Кло	11,95	9,10	IV	3

\* Дч – дуб черешчатый; Бко – бук обыкновенный; Олс – ольха серая; Кло – клен остролистый; Го – граб обыкновенный; Яо – ясень обыкновенный.

Из данных табл. 1 следует, что с повышением высоты склона увеличиваются средние значения диаметра и высоты насаждений, улучшается показатель бонитета и стабилизируется экологическое состояние лесного фитоценоза.

Изменение показателей в лучшую сторону с ростом высоты склона можно объяснить тем, что с высотой температура воздуха снижается, уменьшается давление воздуха, но при этом увеличивается количество осадков. На вершине склона показатели выше, чем в средней и нижней частях склона, что обусловлено большим количеством осадков и солнечного света. Бонитет там более высокий, чем у подножия склона, – III.

Особое место в лесных фитоценозах принадлежит лесной подстилке [8], которая во многом определяет продуктивность лесных насаждений. Лесная подстилка [4] оказывает многостороннее воздействие на почву, способствуя поддержанию верхнего слоя почвы в рыхлом состоянии, свободному проникновению влаги в глубь почвы и препятствию ее испарения. В лесной подстилке содержится значительный запас элементов питания, достаточный для жизни насаждений в течение нескольких лет. По данным наших исследований, колебание мощности лесной подстилки составляет от 1 до 9 см, средняя мощность лесной подстилки в нижней части склона – 3,65 см, в средней – 2,81 см, в верхней – 2,28 см.

Важным показателем экологического состояния лесных фитоценозов является естественное возобновление древесно-кустарниковой растительности. Численность, встречаемость, состав и структурная организация подроста, на взгляд авторов [1, 2], зависят в первую очередь от состава материнского древостоя, его относительной полноты и типа леса. Отсутствие естественного возобновления нарушает сохранение системы лесного фитоценоза и оказывает влияние на экологическое состояние экосистем склоновых земель.

При изучении лесных массивов склоновых земель во всех вариантах исследования производился учет естественного возобновления, фрагмент результатов (варианты 1 и 3) которого представлен в табл. 2. В разных частях склона учитывались высота и состояние подроста (благонадежный, сомнительный, неблагонадежный), его положение (одиночный или групповой).

В зависимости от высоты склона распределение подроста по высоте и породному составу, а также соотношению таких групп претерпевает существенные изменения. В количественном отношении разницы по вариантам исследований не установлено.

Из анализа полученных данных следует, что в верхней части склона большая часть подроста различного состояния находится в окнах полога и произрастает одиночно. На долю благонадежного подроста клена остролистного приходится 46 %, сомнительного – 44 %, неблагонадежного – 10 % от общего количества возобновления. В варианте 1 практически повсеместно произрастает одна порода – клен остролистный, примесь других древесных пород, составляющая менее 1 %, не учитывалась. Диапазон высот лесного возобновления для данного варианта составил 15...75 см.

В нижней части склона наблюдается разнообразие древесных пород. Помимо клена остролистного присутствует подрост дуба черешчатого и бука обыкновенного, что объясняется изменением таксационных характеристик древостоев, температурных режимов и увлажнения. Существенная разница в вариантах 1 (верхняя часть склона) и 3 (нижняя часть склона) отмечается и по распределению одиночных и групповых вариантов подроста. Колебание высот при учете лесного возобновления составило от 9 до 58 см. На долю благонадежного подроста приходится 40 %, сомнительного – 44 %, неблагонадежного – 16 % от общего количества возобновления.

Таблица 2

**Характеристика естественного лесовозобновления (на площади 500 м<sup>2</sup>)  
в насаждениях на вершине и в нижней части склона (варианты 1 и 3)**

№ п/п	Древесная порода	Подрост, шт.					
		благонадежный		сомнительный		неблагонадежный	
		оди- ночный	груп- повой*	оди- ночный	груп- повой*	оди- ночный	груп- повой*
<i>Вариант 1</i>							
1	Клен остролистный			4			
2		1					
3				1			
4			2				
5						4	
6						1	
7						3	
8					3		
9			1				
10						1	
11			1				
12					1		
13			2				
14						1	
15				3			
16					2		
17							2
18			1				
19						1	
20			2				
21							3
22			1				
23					2		
24			2				
25						2	
26				2			
27			2				
28					2		
29			3				
30				2			
31						2	
Всего клена		15	10	15	14	5	–
<i>Итого в варианте 1</i>		54					
<i>Вариант 3</i>							
1	Клен остролистный			1			
2					3		
3				1			
4					2		
5			1				
6				4			
7			1				
Всего клена		2	4	2	5	–	–

Окончание табл. 2

№ п/п	Древесная порода	Подрост, шт.					
		благонадежный		сомнительный		неблагонадежный	
		оди- ночный	груп- повой*	оди- ночный	груп- повой*	оди- ночный	группо- вой*
1	Дуб черешчатый		2				
2					2		
3		1					
4			2				
5			2				
6				1			
7			2				
8				2			
9							3
10					2		
11				1			
12							4
Всего дуба		1	8	4	4	–	7
1	Бук обыкновенный	1					
2				1			
3			3				
4					4		
5						1	
6					2		
7			1				
Всего бука		2	3	1	6	1	7
<i>Итого в варианте 3</i>		5	15	7	15	1	7
		50					

\*Учитывалось количество подроста в группе.

#### Заключение

В целом состояние склоновых земель в районе исследования можно считать удовлетворительным, насаждения выполняют свои защитные функции. Полученные результаты свидетельствуют о том, что с понижением высоты склона ухудшаются таксационные показатели (средние высота, диаметр), экологическое состояние, понижается бонитет. В зависимости от нахождения подроста на склоне распределение его по высоте и породному составу, а также соотношение групп подроста претерпевают существенные изменения. В количественном отношении разницы по вариантам исследования не установлено. В верхней части склона большая часть подроста различного состояния находится в окнах полога и произрастает одиночно.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беляева Н.В., Грязькин А.В. Связь парцеллярной структуры фитоценоза с характеристиками подроста ели // Вестн. МГУЛ–Лесн. вестник. 2014. № 4(18). С. 22–28.
2. Грязькин А.В. Возобновительный потенциал таежных лесов (на примере ельников Северо-Запада России): моногр. СПб.: СПбГЛТА, 2001. 188 с.

3. Лесной кодекс Российской Федерации: федер. закон от 29 янв. 1997 г. № 22-ФЗ. Доступ из справ.-правовой сист. «КонсультантПлюс».
4. *Науменко В.П.* Основы лесного почвоведения: учеб. пособие. Новочеркасск: НГМА, 2001. С. 106.
5. ОСТ 56-69–83. Пробные площади лесоустойчивые. Метод закладки. М., 1983. 60 с.
6. *Погорелов А.В., Ризаев И.Г., Шевела С.Ю.* Лес и горный рельеф: моногр. Краснодар: Кубан. гос. ун-т, 2014. 260 с.
7. Санитарные правила в лесах Российской Федерации // Сборник нормативно-правовых актов в области использования, охраны, защиты лесного фонда и воспроизводства лесов. М.: ВНИИЛМ, 2003. 640 с.
8. *Соломатова Е.А.* Строение, состав и пространственная вариабельность лесных подстилок Восточной Фенноскандии: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Петрозаводск, 2004. 29 с.
9. *Avdeev Y.M., Hamitova S.M., Kostin A.E., Lukashovich V.M., Lukashevich M.V., Kozlov A.V., Uromova I.P., Trushkova M.A., Davydova Y.Y., Kuzletsov V.A.* Assessing the Properties of Tree Trunks in Forest Phytocenoses Depending on the Soil and the Climatic Conditions on the Territory of the Taiga Zone of the European North of Russia // Journal of Pharmaceutical Sciences and Research. 2018. Vol. 10, no. 5. Pp. 1288–1291.
10. *Bürgi M., Gimmi U., Stuber M.* Assessing Traditional Knowledge on Forest Uses to Understand Forest Ecosystem Dynamics // Forest Ecology and Management. 2013. Vol. 289. Pp. 115–122. DOI: 10.1016/j.foreco.2012.10.012
11. *Huttl R.F., Weber E.* Forest Ecosystem Development in Post-Mining Landscapes: A Case Study of the Lusatian Lignite District // Naturwissenschaften. 2001. Vol. 88, no. 8. Pp. 322–329.
12. *Korkalainen T., Laurén A.* Using Phytogeomorphology, Cartography and GIS to Explain Forest Site Productivity Expressed as Tree Height in Southern and Central Finland // Geomorphology. 2006. Vol. 74, iss. 1–4. Pp. 271–284. DOI: 10.1016/j.geomorph.2005.09.001
13. *Kuznetsov M.A., Bobkova K.S.* Organic Carbon Fluxes in the System Soil-Phytocenosis of Bilberry-Sphagnum Spruce Forest in the Middle Taiga Zone of the Komi Republic // Russian Journal of Ecology. 2014. Vol. 45, no. 5. P. 338–344. DOI: 10.1134/S1067413614050099
14. *Oreshkin D.G.* Estimations of the Transparency of the Forest Canopy: Analysis of the Ecological Content // Russian Journal of Ecology. 2002. Vol. 33, no. 2. Pp. 80–85. DOI: 10.1023/A:1014492522684
15. *Roiko-Jokela P.* Maaston korkeus puuntuotantoon vaikuttavana tekijana Pohjois-Suomessa [The Effect of Altitude on the Forest Yield in Northern Finland] // Folia Forestalia. 1980. Vol. 452. Pp. 1–21.

Поступила 28.02.19

UDC 630\*:581.55(470.620)

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.55

### Condition of the Slope Land Forest Phytocenosis in Krasnodar Krai

*N.V. Primakov*, Candidate of Agriculture, Assoc. Prof.; ORCID: [0000-0001-9225-024X](https://orcid.org/0000-0001-9225-024X)

Kuban State University, ul. Stavropol'skaya, 149, Krasnodar, 350040, Russian Federation;  
e-mail: [nik-primakov@yandex.ru](mailto:nik-primakov@yandex.ru)

Relief is the prime factor of differentiation both landscapes and vegetation cover. The research of forest nature, its individual components, stand features, main taxation parameters,

and forest plantations has been done; plantations' ecological state is determined due to the terrain changes nowadays. The study was carried out in the territory of Goryacheklyuchevskoye district forestry (near the Transportnyy village) in the conditions of piedmont undulating relief. Reconnaissance routes were laid out on the slopes. Research options were chosen at the top of the slope, the middle part and the bottom of the slope. Forest litter is one of the important elements of the phytocenosis. In the research we have taken into account its thickness and composition. Parameters of natural forest regeneration were recorded in the study of forest areas of slope lands (average height and diameter). All in all, the slope lands condition in the research area can be considered satisfactory; plantations fulfill their protective functions. The obtained results indicate that with the decrease of the slope height the stand taxation parameters (average height, diameter) and ecological state get worse, its bonitet decreases. The undergrowth distribution in height and breed composition undergoes significant changes depending on the slope height. In terms of quantity there is no difference in the options. At the top of the slope a large part of the undergrowth of different state is located in the canopy openings and grows isolated.

**For citation:** Primakov N.V. Condition of the Slope Land Forest Phytocenosis in Krasnodar Krai. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2019, no. 3, pp. 55–63. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.55

**Keywords:** forest, relief, ecological state, forest ecosystem, natural regeneration, forest phytocenosis, taxation parameters, bonitet, stand composition, undergrowth.

#### REFERENCES

1. Beliaeva N.V., Gryazkin A.V., Kovaleva O.A. The Connection between Parceled Phytocenosis Structure and Spruce Undergrowth Characteristics. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 2014, no. 4(18), pp. 22–28.
2. Gryazkin V.A. *Regeneration Potential of the Taiga Forests (On the Example of Spruce Forests in the North-West of Russia)*: Monography. Saint Petersburg, SPbGLTA Publ., 2001. 188 p.
3. *The Forest Code of the Russian Federation*: Federal Law of January 29, 1997. No. 22-FZ. Access from the legal reference system "Consultant Plus".
4. Naumenko V.P. *Fundamentals of the Forest Soil Science*: Educational Textbook. Novocherkassk, NGMA Publ., 2001, p. 106.
5. *OST 56-69–83. Forest Management Trial Plots. Method of Laying out*. Moscow, 1983. 60 p.
6. Pogorelov A.V., Rizayev I.G., Shevela S.Yu. *Forest and Mountainous Terrain*: Monography. Krasnodar, KubSU Publ., 2014. 260 p.
7. Sanitary Rules in the Forests of the Russian Federation. *Collection of Laws and Regulations in the Field of Use and Protection of Forest Fund and Regeneration*. Moscow, VNIILM Publ., 2003. 640 p.
8. Solomatova E.A. *Structure, Composition and Spatial Variability of Forest Litter in Eastern Fennoscandia*: Cand. Biol. Sci. Diss. Abs. Petrozavodsk, 2004. 29 p.
9. Avdeev Y.M., Hamitova S.M., Kostin A.E., Lukashevich V.M., Lukashevich M.V., Kozlov A.V., Uromova I.P., Trushkova M.A., Davydova Y.Y., Kuzletsov V.A. Assessing the Properties of Tree Trunks in Forest Phytocenoses Depending on the Soil and the Climatic Conditions on the Territory of the Taiga Zone of the European North of Russia. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2018, vol. 10, no. 5, pp. 1288–1291.

- 
10. Bürgi M., Gimmi U., Stuber M. Assessing Traditional Knowledge on Forest Uses to Understand Forest Ecosystem Dynamics. *Forest Ecology and Management*, 2013, vol. 289, pp. 115–122. DOI: 10.1016/j.foreco.2012.10.012
  11. Huttl R.F., Weber E. Forest Ecosystem Development in Post-Mining Landscapes: A Case Study of the Lusatian Lignite District. *Naturwissenschaften*, 2001, vol. 88, no. 8, pp. 322–329.
  12. Korkalainen T., Laurén A. Using Phytogeomorphology, Cartography and GIS to Explain Forest Site Productivity Expressed as Tree Height in Southern and Central Finland. *Geomorphology*, 2006, vol. 74, iss. 1–4, pp. 271–284. DOI: 10.1016/j.geomorph.2005.09.001
  13. Kuznetsov M.A., Bobkova K.S. Organic Carbon Fluxes in the System Soil-Phytocenosis of Bilberry-Sphagnum Spruce Forest in the Middle Taiga Zone of the Komi Republic. *Russian Journal of Ecology*, 2014, vol. 45, no. 5, pp. 338–344. DOI: 10.1134/S1067413614050099
  14. Oreshkin D.G. Estimations of the Transparency of the Forest Canopy: Analysis of the Ecological Content. *Russian Journal of Ecology*, 2002, vol. 33, no. 2, pp. 80–85. DOI: 10.1023/A:1014492522684
  15. Roiko-Jokela P. Maaston korkeus puuntuotantoon vaikuttavana tekijana Pohjois-Suomessa [The Effect of Altitude on the Forest Yield in Northern Finland]. *Folia Forestalia*, 1980, vol. 452, pp. 1–21.

Received on February 28, 2019

---

UDC 630\*

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.64

## A STUDY OF MANGROVE FORESTS IN THE KHANH HOA PROVINCE OF VIETNAM\*

*Phan Trong Huan, Candidate of Agriculture*

*Nguyen Thi Lan, Candidate of Biology; ORCID: 0000-0001-5869-3936*

Vietnamese-Russian Tropical Research and Technology Center, Primorsky Branch, Department of Ecology, st. Nguyen Thien Thuat, 30, Nha Trang, Khanh Hoa Province, 57127, Socialist Republic of Vietnam; e-mail: tronghuan1369@yahoo.com, nguyenlanst1805@gmail.com

In the Socialist Republic of Vietnam, mangrove forests grow in the foreshore of the sea coast and in the river mouths. Mangrove forests play an important role in the coastal tropical ecosystem. They protect the coastline from destroying by tides, fix the soil with root systems and prevent its flushing into the sea, preserve the diversity of species of flora and fauna. With the development of industry in the agrarian country mangrove forests began to be harvested intensively. High level of disturbance of mangrove forests is typical for the Khanh Hoa province. The reduction of forest area has led to a deterioration of the ecological situation in the region; a decrease in the number of species of coastal plants and animals increased the amount of salt in the soil. The primary task for forestry specialists is the study of mangrove forests and the development of methods for their regeneration. We have conducted a research on the mangrove forests in the Khanh Hoa province for 2 years. Two experimental areas were investigated in the mangrove forests formed naturally: the Nhaphu (November, 2017) and Dambay (May, 2018) and in artificially created forests in 2007 in other place of Dambay.

**For citation:** Phan Trong Huan, Nguyen Thi Lan. A Study of Mangrove Forests in the Khanh Hoa Province of Vietnam. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2019, no. 3, pp. 64–72. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.64

**Keywords:** Khanh Hoa province, mangrove forests, tree species, forest inventory indicators, planting.

### *Introduction*

Mangrove forests are common in the humid tropics, mainly along the coasts of East Africa, South Asia, Australia and Oceania [14]. They grow in the zone between the lowest water level at low tide and the highest at high tide – littoral.

They can be found in 118 countries; however, about 75 % of the world's mangrove forests are growing in 15 countries [9]. Asia has the largest area (42 %) of mangrove forests, America (26 %), Africa (21 %), and Australia (12 %). Such a wide spread of these forests around the world is connected with the feature of the seeds of mangrove trees. The seeds ripened on the trees fall off and are carried away by the flow of water to the future place of germination. Seeds of mangrove trees are able to maintain germination for a long time (up to a year) and cross the seas and oceans until they find their harbor, where they take root [5]. Totally there are about 54 species of mangrove trees, and their greatest diversity is found on the coast of Southeast Asia.

---

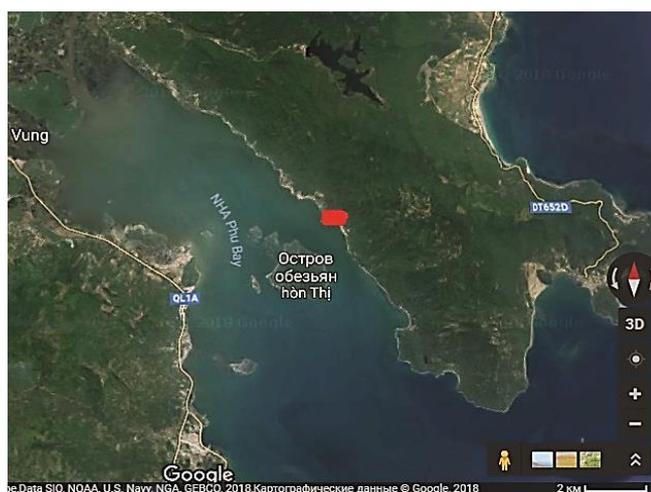
\*The research has been done under the supervision of professor V.F. Kovyazin.

Mangrove forests – a unique ecosystem that creates favorable conditions for the habitat of various species of flora and fauna [11]. The root system, which grows under the water, slows down the flow, so that in coastal waters there is a high diversity of invertebrates and fish; mangrove forest is the habitat for the larvae of many species of insects [8, 13, 15]. The important role of mangrove forests is to prevent soil flushing and protect the shores from the destructive effects of the ocean. The roots of mangrove forests retain precipitation and strengthen the soil, thereby constraining erosion. In addition, mangrove ecosystems are very important for reproduction of fish, creation of habitats for small animals of the continental shelf, nesting places of birds [3, 4, 12]. According to some data, mangrove ecosystems are more or less associated with the life cycle of up to 90 % of all tropical commercial fish [1]. Mangrove forests reduce the destructive effects of hurricanes and tsunamis, they protect from natural disasters more effectively than artificial protective structures built in the places earlier occupied by mangrove forests [18].

#### *Research methods*

Two experimental objects, where natural mangrove forests are growing, were established far from the settlements of Nhaphu and Dambay, so there is no anthropogenic impact on the state of plantations (Fig. 1).

Fig. 1. Location of experimental areas: *a* – near by Nhaphu, *b* – near by Dambay. Objects are highlighted in red



*a*



*b*

The third experimental object, where young mangrove forests were artificially created, is located in 20 km to the South from Dambay. The area of each object is 1.0 ha. At each object, inventory of plantations was carried out, with the follow-up calculation of the main inventory parameters. The studies were carried out according to the well-known forestry methodology [4, 19]. Each object was divided into squares with sides of 10 m. Inventory of stands was carried out according to the received squares. In natural mangrove forests (objects 1 and 2) the species composition of stands was determined [10, 16, 17]; in artificial forest plantations the density of planting and inventory parameters of plants were determined [19]. The research results were processed using MS Excel.

#### Results of research

The analysis of statistical data shows that the area of mangrove forests in Vietnam has been decreasing over the last years. In 1943 there were 408,500 hectares of the forests, and in 1999 there left only 156,608 hectares. Almost 62 % of the mangrove forests were destroyed by human. The Khanh Hoa province has the highest degree of degradation of mangrove forests. Until 1975 the province had about 3,000 hectares of mangrove forests. During 1990–2000 many mangroves were cut down for the construction of pond aquaculture and in 2000 only 100 hectares of mangrove forests remain in the province [2]. As a result of anthropogenic impact, the tree species composition of forests has also changed. At present the province's priority is the study and development of technology of mangrove forests restoration.

According to the study of the tree species composition of mangrove forests, it was found that 11 species of mangroves are found in the stands of the natural origin. The following species dominate: *Rhizophora apiculata* Blume, *Rhizophora mucronata* Lam., *Avicennia officinalis* L., *Aegiceras floridum* Roemer and Schults (Table 1). In the primary mangrove forests of Vietnam there were 37 mangrove species, and more than 30 secondary species [6, 7].

Table 1

**The tree species composition of authentic mangroves in the studied mangrove forests**

No	Family, species	Experimental plots near by	
		Nhaphu	Dambay
	Avicenniaceae		
1	<i>Avicennia marina</i> (Forssk.) Vierh.	+	+
2	<i>Avicennia officinalis</i> L.	+	–
	Combretaceae		
3	<i>Lumnitzera racemosa</i> Willd.	+	+
	Myrsinaceae		
4	<i>Aegiceras floridum</i> Roemer and Schultes	+	+
5	<i>Aegiceras corniculatum</i> L.	+	–
	Rhizophoraceae		
6	<i>Bruguiera gymnorrhiza</i> (L.)	+	+
7	<i>Rhizophora apiculata</i> Blume	+	+
8	<i>Rhizophora mucronata</i> Lam.	+	+
	Euphorbiaceae		
9	<i>Excoecaria agallocha</i> L.	+	+
	Rubiaceae		
10	<i>Scyphiphora hydrophylacea</i> C.F.Gaertn	+	–
	Sonneratiaceae		
11	<i>Sonneratia alba</i> Sm.	+	–

Note: here and later on in Table 2, “+” – found species; “–” – absent species.

The species composition of mangrove forests near by settlement Nhaphu is richer than near by Dambay. On the first experimental area the floor includes 11 authentic mangrove species from 7 families, and on the second one only 7 species from 5 families.

In addition to the main species in the mangrove forests there are secondary species (Table 2).

Table 2

**Secondary species composition in the studied mangrove forests**

No	Family, species	Experimental plots near by	
		Nhaphu	Dambay
	Verbenaceae		
1	<i>Clerodendron inerme</i> (L.) Gaertn	+	+
	Asteraceae		
2	<i>Wedelia biflora</i> (L.)	+	–
	Malvaceae		
3	<i>Hibiscus tiliaceus</i> L.	+	–
4	<i>Thespesia populnea</i> (L.) Sol. ex Corrêa	–	+

Secondary species composition in the studied mangroves represented only by 4 species (in Nhaphu – 3 and in Dambay – 2). In general, it can be concluded that these objects of study have a low diversity of mangrove species composition. This is due to their natural origin and violation of the tree species composition of stands in the 90's of the 20th century as a result of uncontrolled felling.

Nowadays in the area near by Nhaphu the mangrove forests' area is about 30 ha; large part of which is artificially restored. The forests are located in the North and West of the Nhaphu village. Here mangroves are being grown in order to reduce the influence of sea waves and wind. In the area of Tuanle 8 ha were reforested; the main species are: *Sonneratia alba* Sm., *Avicennia* sp., *Rhizophora mucronata* Lam.; about 40 ha of mangroves are grown in the Tandao area, the main species of mangroves is *Rhizophora mucronata* Lam.; and in the Mika planting area there are 10 ha of forests; the main planted species are *Sonneratia alba* Sm., *Avicennia* sp., *Rhizophora mucronata* Lam., *Aegiceras corniculatum* L.

In the Dambay area only 3.4 ha of natural mangrove forests are preserved, which are located in the East, the main species are *Rhizophora apiculata* Blume and *Aegiceras floridum* Roemer and Schultes. At the present in the North and East of the Dambay, mangrove forests are being restored by planting (object 3). Planting was carried out in 2004, 2007 and 2013. Planted species of the mangroves is *Rhizophora apiculata* Blume.

It is planned to plant 400 ha of mangrove forests in the Khanh Hoa province by 2025 and 61 hectares of artificial forests around the city Nhatrang, village Bichdam (11 ha), and other areas in the river of Quantruong basin.

Mangroves that were planted in 2004 and 2007 are well developed and have formed dense thickets (Fig. 2 a, b), and planted in 2013 are still small and did not form a crown (Fig. 2 c). Last year we carried out an inventory of mangroves planted in 2007.

There are 9 investigated squares in total (of 10×10 m size); the first 3 squares were located on the edge of water in the sea; and the following were located closer to the land. The measurement of inventory parameters was carried out during high

tide, so in the squares 1, 2 and 3 the plants are deeply immersed in water (more than 1 m), so we could not measure the diameter of the trunk, which is recommended to measure at a height of 15 cm from the root neck. These plants we classified as the I category. The II category included plants that are flooded with water at 0.5–1 m. These are squares 4, 5, and 6. The diameter of the trunk was measured in mangroves that were flooded with water less than 0.5 m. The III category included plants that were located at the highest place; these are squares 7, 8, and 9. The diameter of the trunk of these plants was determined according to the requirements of forestry research.

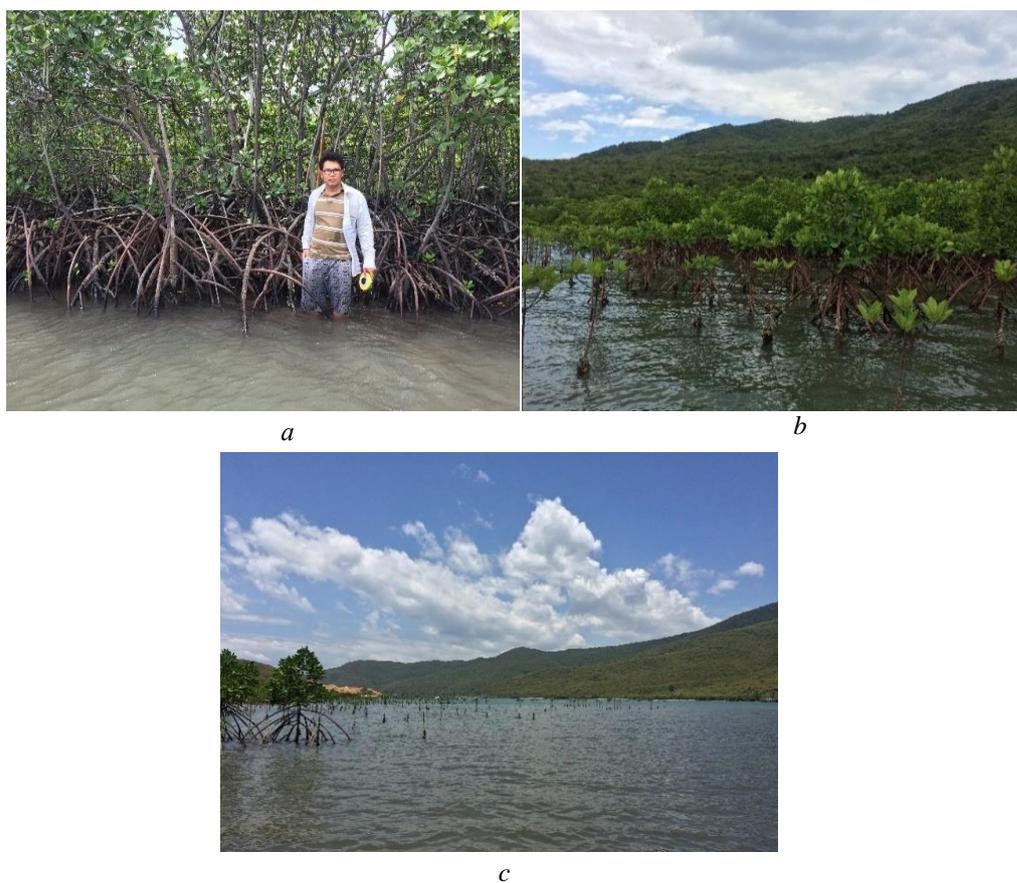


Fig. 2. Artificial mangrove forests in Dambay: *a* – plantations of 2004, *b* – plantations of 2007, *c* – plantations of 2013

The processed results of the plant inventory are given in Table 3.

The results of the studies presented in Table 3 show that the success of the formation of artificial mangrove forests is influenced by the level of flooding of plants during tides. Sea waves in the deep flooding of mangroves shake them and disrupt the root systems and cause mechanical damages of the trunks, which leads to the death of some samples. The greatest density fixed at 11 year old plants (82.33 pcs/0,01 ha) is observed in the plantations without flooding them with sea water (Fig. 3). Salt excess in sea water slows down the physiological processes inside the plants, which leads to a decrease in the growth rate of height and diameter.

Table 3

## Inventory parameters of mangroves planted in Dambay in 2007

Parameter	Number of square								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Density of plants, pcs/0.01 ha	45	53	42	50	57	65	75	89	83
Mean density of plants by category, pcs /0.01 ha	46.67			57.33			82.33		
Height of plants, m	1.7	1.5	1.7	1.7	1.6	1.7	3.5	3.5	3.6
Height of plants, minimum, m	1.15	1.2	1.15	1.2	1.2	1.2	1.5	1.5	1.6
Mean height of plants, m	1.32	1.31	1.33	1.33	1.35	1.32	2.76	2.70	2.66
Mean height of plants by category, m	1.31			1.33			2.7		
Trunk diameter, maximum, cm	–	–	–	2.5	2.6	2.6	5.1	5.2	5.2
Trunk diameter, minimum, cm	–	–	–	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Mean trunk diameter of plants, cm	–	–	–	2.10	2.21	2.11	3.54	3.48	3.42
Mean trunk diameter by category, cm	–			2.17			3.47		

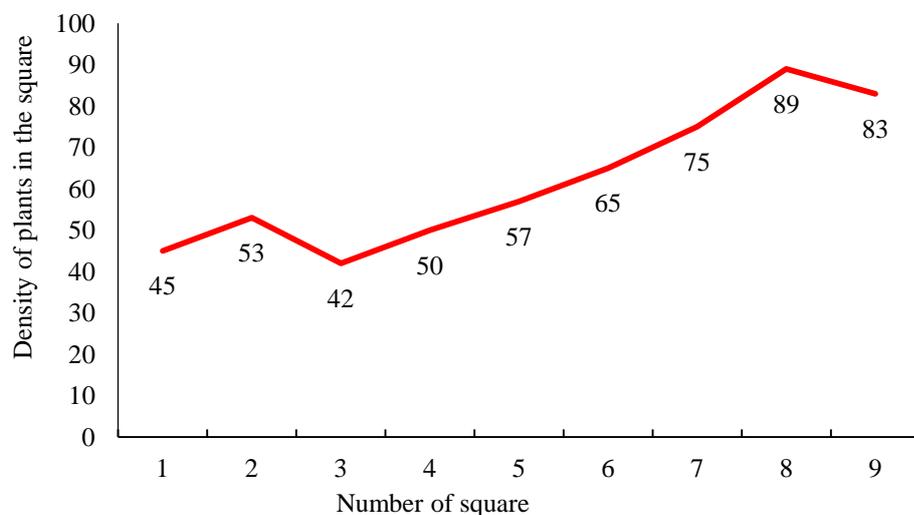


Fig. 3. Density of mangroves in the studied squares

For this reason, the habitus (height and diameter) of plants planted in the tidal zone (squares 1–6) is significantly smaller than the size of mangroves planted outside the zone of the sea waves (squares 7–9) (Fig. 4). ANOVA single factor criterion was used to estimate the reliability of the average values of taxation parameters of plantations. There are no significant differences between inventory indicators of stands ( $F < F_{cr}$ ) of the first two categories of forming forests. If we compare the III category of mangrove forests formation with the II category and especially with the I category, there is a significant difference in the size of inventory indicators ( $F > F_{cr}$ ).

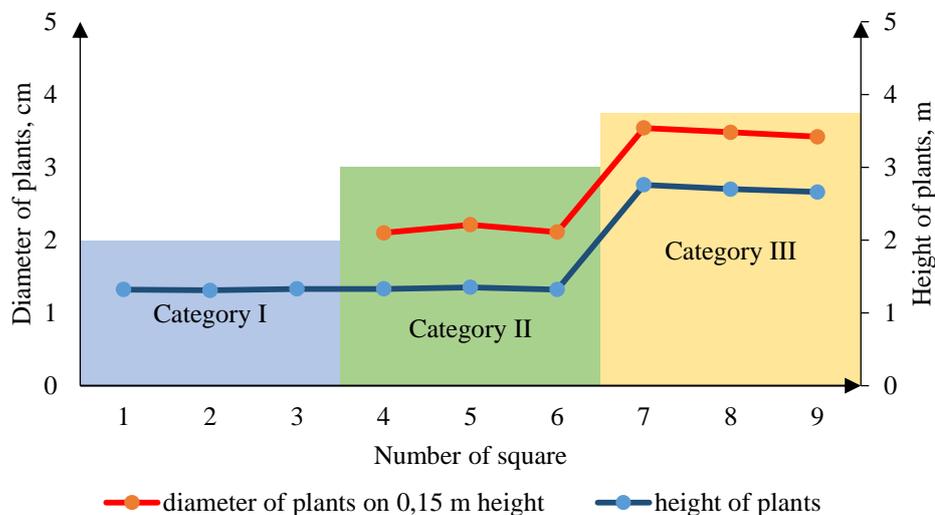


Fig. 4. Inventory indicators of mangroves growing at different water flooding levels

#### Summary

1. Natural mangrove forests growing close to the settlements Nhaphu and Dambay are characterized by low diversity of plant species. This is due to their intensive exploitation in the late 20th century. In the Khanh Hoa province of Vietnam there are minor areas of natural mangrove forests, and most of them cut down. There are 11 authentic mangrove species and 4 secondary species. The dominant species are *Rhizophora apiculata* Blume, *Rhizophora mucronata* Lam, *Avicennia officinalis* L., *Aegiceras floridum* Roemer and Schultes.

2. Mangrove forests are a unique ecosystem that creates conditions for the habitat of various species of flora, fauna and even invertebrates and fish. The root systems of plants slow down the water flow, prevent erosion, washing away the fertile soil layer, protect the coast from destruction by the ocean waves, hurricanes and tsunamis. In Vietnam, a large area of mangroves has been planted. Comparison of the results showed that the survival of mangrove trees planted in Dambay is not high.

3. In the last decade there has been a trend of artificial reforestation of mangrove forests cut down in the end of the 20th century in Vietnam. The survival of plantations is influenced by many factors; for mangroves – the height of flooding of plantations with the sea water. It has been found that with periodically flooding of forest plantations with water of the sea tide, the growth rate of plants in height and diameter is lower than that of plants constantly growing in the ground. Moreover, the flooding level does not affect the efficiency of formation of plants' inventory indicators. In case of plants flooding by 0.5 and 1.0 m, the inventory indicators remain the same for the 11 forest plantations of mangroves. Plantations grown on land without tides in habitus differ almost 2 times in comparison with tidal areas. The reason for this is the negative impact of sea waves on plants. This fact should be taken into account in the planning of artificial mangroves plantations.

## REFERENCES

1. Gornung M.B. *Humid Tropics: (The Environment's Changes under the Influence of Economic Activity)*. Moscow, Mysl' Publ., 1984. 239 p.
2. Kovyazin V.F, Nguyen T.X., Romanchikov A.Yu. Land Use Transformation in the Tanrai Region, Vietnam. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universitet. Nauki o Zemle* [Izvestiya Tula State University: Sciences of Earth], 2017, iss 4, pp. 28–39.
3. Kovyazin V.F, Romanchikov A.Yu. The Problem of Cadastral Appraisal of Forest Lands Taking Into Account the Infrastructure of the Forestry Fund. *Zapiski Gornogo instituta* [Journal of Mining Institute], 2018, vol. 229, pp. 98–104. DOI: 10.25515/PMI.2018.1.98
4. Minayev V.N., Leont'yev L.L., Kovyazin V.F. *Forest Inventory: Educational Textbook*. Moscow, Lan' Publ., 2018. 248 p.
5. *Công cụ quy hoạch phát triển kinh tế lâm nghiệp vùng sinh thái trọng điểm của sông Cửu Long*. Hồ Chí Minh, Phân viện Điều tra Quy hoạch Rừng II, 1995, tr. 146–155.
6. Đất ngập nước và biến đổi khí hậu. *Kỷ yếu Hội thảo Quốc gia*. Biên tập: Hoàng Văn Thắng, Phạm Bình Quyền, Lê Hương Giang, Nguyễn Thị Kim Cúc, Võ Thanh Giang, Vũ Minh Hoa và Quận Thị Quỳnh Giao. Hà Nội, NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2011. 472 tr.
7. Hoàng Ngọc Khắc, Đỗ Văn Nhượng. Thành phần động vật đáy trong vùng RNM thuộc hai huyện Nga Sơn, tỉnh Thanh Hóa và Diễn Châu, tỉnh Nghệ An. *Báo cáo dự án "Hiện trạng và hiệu quả của việc phục hồi RNM đối với cuộc sống người dân vùng ven biển hai huyện Nga Sơn, tỉnh Thanh Hoá và Diễn Châu, tỉnh Nghệ An"*. Hà Nội, MERD/JRC/IFRC, 2005, tr. 65–76.
8. Lê Xuân Tuấn, Phan Nguyên Hồng, Trương Quang Học. Những vấn đề môi trường ven biển và phục hồi rừng ngập mặn ở Việt nam. *Kỷ yếu hội thảo quốc tế Việt Nam học lần thứ ba*. 2008, tr. 678–692.
9. Nguyễn Xuân Hòa, Phạm Thị Lan, Nguyễn Xuân Trường. Hiện trạng rừng ngập mặn ở dải ven bờ Nam trung bộ (từ Đà Nẵng đến Ninh Thuận). *Tuyển Tập Nghiên Cứu Biển*, 2010, số XVII, tr. 167–177.
10. Viên Ngọc Nam, Nguyễn Sơn Thụy. *Nhận biết cây rừng ngập mặn qua hình ảnh*. Hồ Chí Minh, Sở Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn, 1999. 102 tr.
11. Vũ Trung Tạng. *Các hệ sinh thái cửa sông Việt Nam: khai thác, duy trì và phát triển nguồn lợi*. Hà Nội, Khoa học và kỹ thuật, 1994. 271 tr.
12. Douglas B.C. Global Sea Rise: A Redetermination. *Surveys in Geophysics*, 1997, vol. 18, iss. 1–2, pp. 279–292. DOI: 10.1023/A:1006544227856
13. Frusher S.D. The Ecology of Juvenile Penaeid Prawns, Mangrove Crabs (*Scylla serrata*) and the Giant Freshwater Prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) in the Purari Delta. Ch. 18. *The Purari – Tropical Environment of a High Rainfall River Basin*. Ed. by T. Petr. Dordrecht, Springer, 1983, pp. 341–353. DOI: 10.1007/978-94-009-7263-6\_18
14. Fujimoto K., Miyagi T., Murofushi T., Mochida Yu., Adachi H., Pramojanee P. Mangrove Habitat Dynamics and Holocene Sea-Level Changes in the Southwestern Coast of Thailand. *Tropics*, 1998, vol. 8, iss. 3, pp. 239–255. DOI: 10.3759/tropics.8.239
15. Gwyther D. The Importance of the Purari Delta to the Prawn Trawl Fishery of the Gulf of Papua. Ch. 19. *The Purari – Tropical Environment of a High Rainfall River Basin*. Dordrecht, Springer, 1983, pp. 355–365. DOI: 10.1007/978-94-009-7263-6\_19
16. Hogarth P.J. *The Biology of Mangroves and Seagrasses*. Oxford, Oxford University Press, 2015. 304 p. DOI: 10.1093/acprof:oso/9780198716549.001.0001
17. Kitamura Sh., Anwar Ch., Chaniago A., Baba Sh. *Handbook of Mangroves in Indonesia: Bali and Lombok*. Okinawa, International Society for Mangrove Ecosystems, 1997. 119 p.
18. *Survey Manual for Tropical Marine Resources*. Ed. by S. English, C. Wilkinson, V. Baker. Townsville, Australian Institute of Marine Science, 1994. 368 p.
19. *The American Standard for Nursery Stock (ANSI Z60.1)*. AmericanHort, 2014. 97 p.

Received on January 18, 2019

УДК 630\*

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.64

**Исследование мангровых лесов в провинции Кханьхоа во Вьетнаме\****Фан Чонг Хуан, канд. с.-х. наук, науч. сотр.**Нгуен Тхи Лан, канд. биол. наук, исследователь; ORCID: 0000-0001-5869-3936*

Российско-Вьетнамский Тропический научно-исследовательский и технологический центр, Приморское отделение, департамент экологии, ул. Нгуен Тхьен Тхуат, д. 30, г. Нячанг, провинция Кханьхоа, Социалистическая Республика Вьетнам, 57127; e-mail: tronghuan1369@yahoo.com, nguyenlanst1805@gmail.com

Мангровые леса Вьетнама растут в приливной полосе морского побережья и в устьях рек. Они играют важную роль в прибрежно-тропической экосистеме и защищают береговую линию от разрушения приливами, закрепляют почву своими корневыми системами и предотвращают ее смыв в море, сохраняют разнообразие видов флоры и фауны. С развитием промышленности во Вьетнаме началась интенсивная вырубка мангровых лесов. Высокий уровень разрушения мангровых лесов характерен для провинции Кханьхоа. Сокращение площади лесов приводит к ухудшению экологической ситуации в регионе, уменьшению числа видов прибрежных растений и животных, увеличению солей в почве. Основной задачей специалистов лесного хозяйства является изучение мангровых лесов и разработка методов их восстановления. Проводятся исследования мангровых лесов в провинции Кханьхоа в течение 2 лет. Изучены два экспериментальных лесных участка, образованных естественным путем: Няфу (ноябрь 2017 г.) и Дамбай (май 2018 г.), а также участки в искусственных лесах Дамбая, посаженные в 2007 г. *Для цитирования:* Фан Чонг Хуан, Нгуен Тхи Лан. Исследование мангровых лесов в провинции Кханьхоа во Вьетнаме // Лесн. журн. 2019. № 3. С. 64–72. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.64

*Ключевые слова:* провинция Кханьхоа, мангровые леса, древесные породы, показатели инвентаризации лесов, посадка растений.

Поступила 18.01.19

---

---

\*Работа выполнена под руководством проф. В.Ф. Ковязина.

УДК 630\*114.351:581.1:582.76/77  
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.73

## ФОРМИРОВАНИЕ ПОДСТИЛКИ ПОЙМЕННЫХ ЛЕСНЫХ БИОГЕОЦЕНОЗОВ С УЧАСТИЕМ *ACER NEGUNDO* L.

**О.Л. Цандекова, канд. с.-х. наук; ResearcherID: J-4580-2018, ORCID: 0000-0002-9768-3084**  
**В.И. Уфимцев, канд. биол. наук; ResearcherID: J-9268-2018, ORCID: 0000-0001-5854-5802**  
Институт экологии человека Федерального исследовательского центра угля и углехимии Сибирского отделения РАН, просп. Ленинградский, д. 10,  
г. Кемерово, Россия, 650065; e-mail: zandekova@bk.ru, uwy2079@gmail.com

Проанализированы результаты влияния опада клена ясенелистного (*Acer negundo* L.) на формирование подстилки в пойменных лесных сообществах. Объектом исследования служил растительный опад, отобранный в различных зонах фитогенных полей естественных насаждений *A. negundo*, произрастающих в пойме р. Томь. Пробы отбирали по трем категориям сомкнутости крон деревьев. В качестве контроля использовалась внешняя зона одиночных деревьев. В пределах подкороновой, прикороновой и внешней зон фитогенного поля деревьев проводились описания растительного покрова, определялись доминирующие виды растений и их общее проективное покрытие. Перед началом исследования выделялись аналитические пробы, которые высушивались до воздушно-сухого состояния и взвешивались с нахождением доли каждой растительной фракции. В них определялось содержание полифенольных соединений и лигнина. Анализ результатов показал, что на формирование подстилки пойменных лесных сообществ оказывает влияние сомкнутость крон популяции *A. negundo*, а также содержание минеральных и органических соединений растительного опада. Наиболее интенсивной минерализацией опада в почве, особенно в подкороновой зоне, обладает лесная подстилка под одиночными деревьями в несомкнутых древостоях, вероятно, за счет повышенного содержания элементов питания и большей суммы поглощенных оснований, а также высокого накопления фитомассы и минимального содержания полифенолов и лигнина в сравнении с лесной подстилкой деревьев других обследованных групп. Результаты исследования могут быть использованы для мониторинга природных экосистем.

**Для цитирования:** Цандекова О.Л., Уфимцев В.И. Формирование подстилки пойменных лесных биогеоценозов с участием *Acer negundo* L. // Лесн. журн. 2019. № 3. С. 73–81. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.73

**Финансирование:** Работа выполнена в рамках реализации государственного задания ФИЦ УУХ СО РАН (проект № 0352-2019-0015).

**Ключевые слова:** клен ясенелистный, фитогенное поле, растительный опад, фитомасса, фенольные соединения, лигнин.

### Введение

Клен ясенелистный (*Acer negundo* L.) оказывает существенное влияние на растительность нижних ярусов, изменяя водный, тепловой и световой режим биогеоценоза. Он формирует значительное количество растительного опада, вместе с которым в почву возвращаются химические соединения, принадлежащие к разнообразным классам [16, 18, 19]. Скорость разложения опада в условиях различных ценозов в значительной степени связана с его видовым химическим составом. В начальный период разрушения опада разлагаются легкорастворимые и подвижные соединения, на следующих стадиях биохимические процессы замедляются. По данным многочисленных исследований, биохимический состав опада растений является ключевым фактором,

определяющим скорость разложения лесных подстилок [10, 15, 17, 20]. Высокое содержание легкоразлагаемых водорастворимых органических соединений благоприятствует быстрой минерализации растительного опада, а наличие большого количества лигнина замедляет этот процесс [7, 12, 14]. Изучение формирования подстилки и выявление особенностей содержания в ней органических соединений необходимы для уточнения приспособительных свойств растений к экологическим условиям их произрастания [5, 6, 11].

Цель исследования – изучение влияния растительного опада *A. negundo* L. на формирование подстилки пойменных лесных биогеоценозов.

#### *Объекты и методы исследования*

Объектом исследования выступал растительный опад, отобранный в различных зонах фитогенных полей естественных насаждений клена ясенелистного, произрастающего в пойме р. Томь в пределах г. Кемерово. Причиной появления насаждений *A. negundo* в естественных сообществах, произрастающих в пойме р. Томь, послужило, с одной стороны, проведение озеленения городских и пригородных территорий с помощью данной культуры, с другой – заселение клена из рудеральных сообществ на антропогенно нарушенные территории, а потом его внедрение в естественные природные сообщества.

Отбор образцов проводили на пробных площадках (ПП) в различных условиях сомкнутости крон с учетом зон влияния деревьев: I – одиночные деревья в несомкнутых древостоях: подкрановая (ПП 1) и прикрановая (ПП 2) зоны дерева; II – древостои со средней сомкнутостью крон (50...60 %): подкрановая (ПП 3) и прикрановая (ПП 4) зоны; III – древостои с высокой сомкнутостью крон (100 %): приствольная (ПП 5) и прикрановая (ПП 6) зоны. В качестве контроля выбрана внешняя зона (Вк) одиночных деревьев. Насаждения оценивались первой категорией жизненного состояния по шкале В.А. Алексеева I классом бонитета. Возраст деревьев составлял 20–25 лет, высота – 12...14 м. Диаметр кроны у одиночных деревьев – 8...10 м, у деревьев средней и полной сомкнутости крон – 4...6 м.

Сроки отбора образцов – в начале (III декада мая), середине (III декада июля) и конце (III декада сентября) вегетационных периодов 2017–2018 гг. Климатические условия вегетационного периода 2017 г. характеризовались достаточно теплой и влажной погодой. В мае среднемесячная температура воздуха составляла 11,7 °С, что превышало среднегодовую норму на 0,5 °С. Осадков выпало 24 мм (60 % от нормы). В июле и августе отмечались понижение температуры (на 0,5...0,8 °С ниже нормы) и избыток увлажнения (144...146 % от нормы). Особенностью вегетации 2018 г. являлись понижение температуры воздуха (ниже нормы на 4,2 °С) и увеличение влажности (198 % от нормы) в начале и середине вегетации (температура ниже нормы на 1,0 °С, влажность – 153 % от нормы). К концу вегетационного периода среднемесячная температура составляла 9,6 °С, что превышало норму на 1,1 °С, осадков выпало 51 мм (124 % от нормы).

В пределах подкрановой, прикрановой и внешней зон (контроль) проведены описания растительного покрова, определены доминирующие виды растений и их общее проективное покрытие. Образцы растений отбирались в пределах каждой ПП на учетных площадках размером 30×60 см, высушивались до воздушно-сухого состояния и взвешивались с установлением доли

каждой растительной фракции. Перед проведением исследований выделялись аналитические пробы (размер частиц – 1 мм), в которых фиксировались содержание фенольных соединений по уровню танинов [8] и содержание лигнина с использованием 72 %-го раствора серной кислоты по ГОСТ 26177–84 [3]. Повторность всех опытов 3-кратная. Агрохимический анализ почвы исследуемых площадок проводился в Федеральном государственном бюджетном учреждении Центра агрохимической службы «Кемеровский». Статистическая обработка полученных данных и построение графиков выполнялись с помощью стандартного пакета программ StatSoft Statistica 8.0. for Windows и Microsoft Office Excel 2007.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Результаты агрохимических анализов (см. таблицу) показали, что исследуемые почвы обладали слабокислой и нейтральной реакцией солевой вытяжки ( $pH_{\text{сол}}$  5,9...6,5), что соответствует показателям зональных ненарушенных почв [9]. Обеспеченность подвижными формами фосфора на всех ПП характеризуется как очень высокая, варьирует в пределах 610...1650 мг/кг, что в 2,4–6,6 раз превышает нижний предел данной градации обеспеченности [4].

Отмечается тенденция увеличения содержания подвижного фосфора по мере перехода от внешних зон фитогенных полей к внутренним. С точки зрения почвенного плодородия данный фактор можно рассматривать как положительный почвенно-экологический эффект, однако повышенные концентрации фосфора в почве могут блокировать поступление в растения важнейших элементов питания и, как следствие, вызывать приостановку их роста [1, 13], что является опосредованной характеристикой аллелопатического воздействия *A. negundo*.

**Агрохимические показатели почвы исследуемых площадок  
(глубина отбора проб – 0...20 см)**

Показатель	Вк	ПП 1	ПП 2	ПП 3	ПП 4	ПП 5	ПП 6
Кислотность ( $pH_{\text{сол}}$ ), ед. pH	6,0±0,1	6,5±0,1	6,2±0,1	5,9±0,1	6,1±0,1	5,9±0,1	6,2±0,1
Органическое вещество, %	7,6±0,8	7,6±0,8	7,4±0,7	5,6±0,6	7,9±0,8	10,3±1,0	10,6±1,0
Фосфор подвижный ( $P_2O_5$ ), мг/кг	710±85	1170±140	1050±123	620±74	610±73	1380±156	1650±198
Калий обменный ( $K_2O$ ), мг/кг	120±12	290±29	1785±18	140±14	191±19	190±19	400±40
Азот нитратный, мг/кг	44,7±8,9	26,3±5,3	25,1±5,0	30,9±6,2	27,5±5,5	24,0±4,8	58,9±11,8
Азот общий, %	0,40±0,03	0,39±0,03	0,34±0,02	0,30±0,02	0,35±0,02	0,43±0,03	0,53±0,03
Сумма поглощенных оснований, ммоль/100 г	41,2±6,2	42,4±6,4	36,0±5,4	23,2±3,5	34,0±5,1	43,2±6,5	43,2±6,5

Содержание нитратного азота на всех ПП по шкале Г.П. Гамзикова [2] колеблется на высоком уровне – от 24,0 до 58,9 мг/кг. Массовая доля общего азота – 0,30...0,53 %, сумма поглощенных оснований – 23,2...43,2 ммоль/100 г. Содержание обменного калия варьирует от 120 до 440 мг/кг и соответствует среднему и высокому уровням (ГОСТ Р 54650–2011), причем ниже всего оно в контроле. Содержание органического вещества – 5,6...10,6 %, что соответствует уровню высокогумусных лугово-черноземных и луговых почв.

Сравнительный анализ агрохимических показателей почвы под насаждениями *A. negundo* L. показал, что более высокие значения изучаемых параметров (содержание подвижного фосфора, обменного калия, азота нитратного, азота общего, органического вещества) характерны для ПП 5 и ПП 6 под деревьями III группы в сравнении с контролем и другими ПП, при этом рН сдвигается в нейтральную и слабокислую сторону, более благоприятную для формирования плодородного слоя. Содержание азота на ПП подтверждает известную связь между количествами в почве этого элемента и органического вещества. Одновременно с уменьшением количества гумуса в почве следует снижение содержания азота, а с ростом количества гумуса увеличивается содержание азота. Так, на ПП 3 отмечен минимальный уровень органического вещества – 5,6 %, на ПП 6 – максимальный (10,6 %), при этом массовая доля общего азота составила 0,30 и 0,53 % соответственно.

Весьма существенным фактором, оказывающим влияние на интенсивность деструкции, является содержание суммы поглощенных оснований. Растительные остатки, богатые катионами, разлагаются значительно энергичнее, чем содержащие мало оснований. У деревьев I и III групп отмечены более высокие значения данного показателя, что, вероятно, способствует наиболее интенсивной минерализации опада и быстрому развитию отдельных этапов круговорота веществ в почве.

Одним из основных показателей, отражающих процесс минерального питания, особенности поглощения и накопления питательных веществ растением, является накопление фитомассы растений. В фитогенном поле модельных деревьев наблюдалась горизонтальная дифференциация растительного покрова. Доминирующими видами у одиночных растений в несомкнутых древостоях являлись *Poa pratensis* L., *Urtica dioica* L., *Phleum pratense* L., *Elytrigia repens* (L.) Nevski., общее проективное покрытие (ОПП) достигало 40...90 %. У деревьев со средней сомкнутостью крон ОПП составляло 20...70 % с доминированием *Humulus lupulus* L. (10 %) и *Poa pratensis* L. (50 %) У деревьев с полной сомкнутостью крон ОПП-50 %, в том числе собственный самосев *A. negundo* L. (15 %) и *H. lupulus* L. (25 %). Внешняя зона одиночных деревьев характеризовалась 100 %-м ОПП с доминированием *Poa pratensis* L., *Phleum pratense* L., *Elytrigia repens* (L.) Nevski.

Анализ результатов по накоплению фитомассы растительного опада *A. negundo* L. в течение вегетации показал некоторые различия в фитогенных зонах исследуемых деревьев (рис. 1).

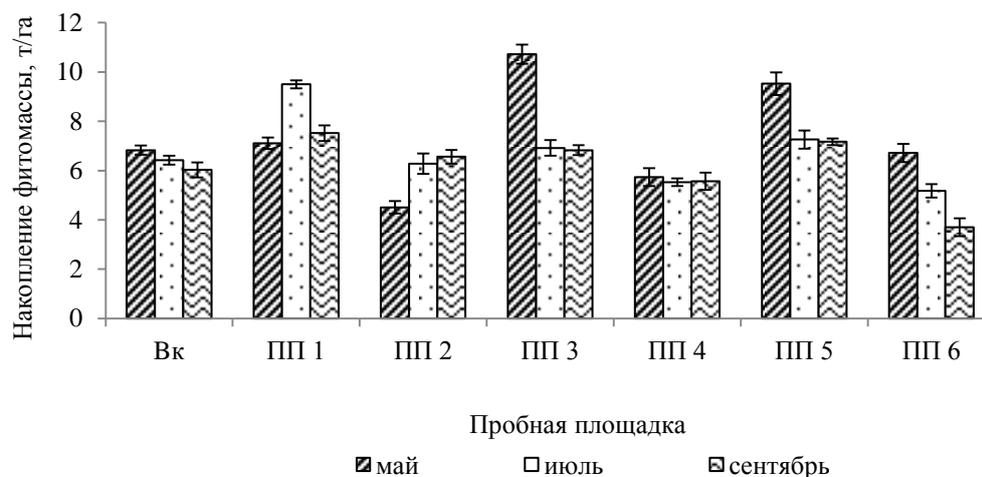


Рис. 1. Динамика накопления фитомассы растительного опада *A. negundo* L.

Fig. 1. Phytomass accumulation dynamics of the *Acer negundo* L. plant litter

Отличительной характеристикой подстилки подкороновой зоны служит высокий уровень ее фитомассы – 6,9...10,7 т/га, что больше, чем во внешней зоне, в среднем на 24...30 %. Наибольшие значения фитомассы растений отмечены в начале и середине вегетации на всех ПП, к концу вегетации она снижается. Максимальные отличия данного показателя от контроля наблюдались в мае на ПП 2 – на 34 %, ПП 3 – на 56 %, ПП 5 – на 39 %; в июле и сентябре – на ПП 1 (на 48 и 31 % соответственно).

Важными факторами, влияющими на скорость разложения растительного опада, является также содержание полифенольных соединений и содержание лигнина. Результаты проведенных исследований показали, что на всех ПП в течение вегетации происходит повышение содержания водорастворимых полифенолов с максимумом в сентябре (1,26...1,91 %) (рис. 2).

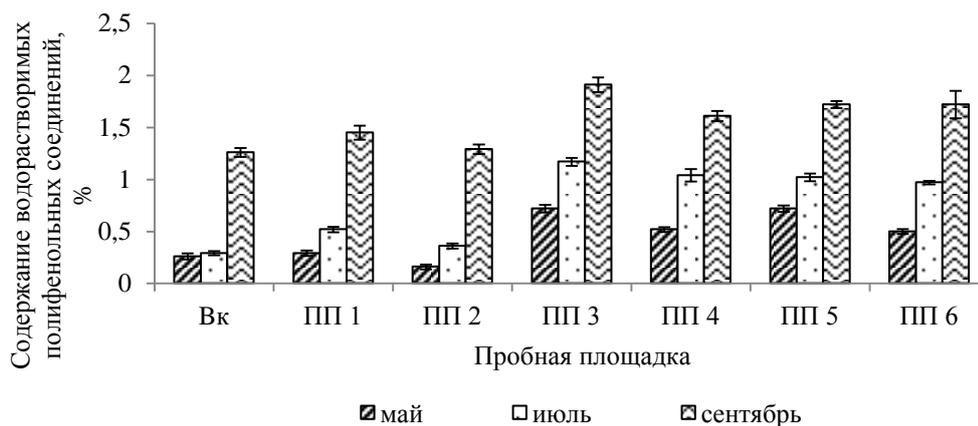


Рис. 2. Динамика содержания полифенольных соединений в растительном опаде *A. negundo* L.

Fig. 2. Polyphenolic compounds dynamics in the plant litter of *Acer negundo* L.

В течение вегетации по содержанию полифенолов отмечены наибольшие отличия от контроля для деревьев II и III групп. Так, на ПП 3 значения варьировали в пределах от 0,72 до 1,91 %, на ПП 5 – от 0,72 до 1,72 %, что выше контроля в 2,6–2,8 раза. Содержание лигнина в этих образцах изменялось от 8,57 до 12,46 %, в середине вегетации – снижалось до 7,48 % (рис. 3).

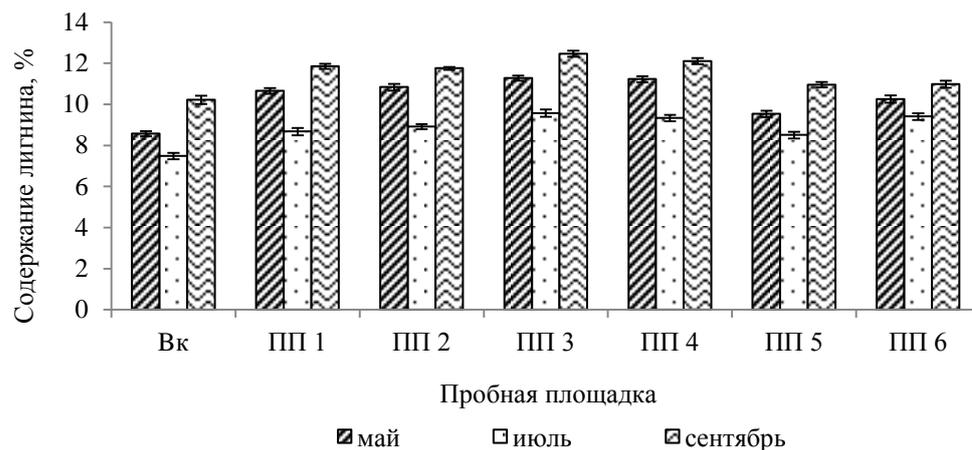


Рис. 3. Динамика содержания лигнина в растительном опаде *A. negundo* L.

Fig. 3. Level of lignin content in the plant litter of *Acer negundo* L.

Установлено, что в течение вегетации опытные образцы имели более высокий (в 1,1–1,3 раза) уровень лигнина, чем контрольные образцы. Наибольшие отличия от контроля отмечены у деревьев II группы, особенно в подкороновой зоне. Так, в мае на ПП 3 содержание лигнина выше контроля на 32 %, на ПП 4 – на 31 %; в июле – соответственно на 28 и 25 %; в сентябре – на 22 и 18 % соответственно.

Для оценки взаимосвязи исследуемых показателей, определенных нами для опада *A. negundo* L., был выполнен корреляционный анализ, который выявил достоверную положительную связь между содержанием полифенольных соединений и содержанием лигнина ( $r = 0,55$  при  $n = 126$ ,  $p < 0,05$ ).

#### Заключение

Установлено, что на формирование подстилки пойменных лесных биогеоценозов оказывает влияние сомкнутость крон популяции *A. negundo* L., а также содержание минеральных и органических соединений растительного опада. Среди показателей химического состава растительного опада наиболее выражено различие в содержании полифенольных соединений и лигнина, в меньшей степени – в накоплении фитомассы. Наиболее интенсивной минерализацией опада в почве, особенно в подкороновой зоне, обладают одиночные деревья в несомкнутых древостоях, вероятно, за счет повышенного количества элементов питания и большей суммы поглощенных оснований, а также более высокого накопления фитомассы и минимального содержания полифенолов и лигнина по сравнению с деревьями других исследуемых групп.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адрианов С.Н., Сушеница Б.А. Роль фосфора в современной земледелии // Плодородие. 2004. № 3(18). С. 13–16.
2. Гамзиков Г.П. Азот в земледелии Западной Сибири. М.: Наука, 1981. 267 с.
3. ГОСТ 26177–84. Корма, комбикорма. Метод определения лигнина. М.: Изд-во стандартов, 1984. 3 с.
4. ГОСТ Р 54650–2011. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. М.: Стандартинформ, 2013. 11 с.
5. Гродзинский А.М. Аллелопатия в жизни растений и их сообществ: Основы химического взаимодействия растений. Киев: Наук. думка, 1965. 198 с.
6. Долгих Е.А., Кавеленова Л.М. Особенности химического состава опада дуба и липы в зависимости от комплекса лесорастительных условий // Химия растительного сырья. 1999. № 4. С. 25–29.
7. Ковалева Н.О., Ковалев И.В. Биотрансформация лигнина в лесных почвах // Лесоведение. 2006. № 3. С. 57–63.
8. Коренская И.М., Ивановская Н.П., Измалкова И.Е. Лекарственные растения и лекарственное растительное сырье, содержащие антраценпроизводные, простые фенолы, лигнаны, дубильные вещества. Воронеж: ИПЦ Воронеж. ГУ, 2007. 87 с.
9. Самаров В.М. Почвы и климат Кузнецкой котловины: учеб. пособие. Кемерово: ГСХИ, 2017. 79 с.
10. Чульдиене Д., Алейниковиене Ю., Мурашкиене М., Марозас В., Армолайтис К. Распад и сохранность органических соединений и питательных элементов в листовном опаде после зимнего сезона под лесопосадками лиственницы европейской, бука обыкновенного и дуба красного в Литве // Почвоведение. 2017. № 1. С. 56–63. DOI: 10.7868/S0032180X16110022
11. Шелепова О.В., Возна Л.И. Сравнительная оценка влияния опада древесных растений на свойства дерново-подзолистых почв дендрария ГБС РАН // Бюл. ГБС. 2016. № 1(202). С. 22–26.
12. Austin A.T., Ballaré C.L. Dual Role of Lignin in Plant Litter Decomposition in Terrestrial Ecosystems // PNAS. 2010. Vol. 107, no. 10. Pp. 4618–4622. DOI: 10.1073/pnas.0909396107
13. Balemi T., Negisho K. Management of Soil Phosphorus and Plant Adaptation Mechanisms to Phosphorus Stress for Sustainable Crop Production: A Review // Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 2012. Vol. 12, iss. 3. Pp. 547–561. DOI: 10.4067/S0718-95162012005000015
14. DeAngelis K.M., Allgaier M., Chavarria Y., Fortney J.L., Hugenholtz Ph., Simmons B., Sublette K., Silver W.L., Hazen T.C. Characterization of Trapped Lignin-Degrading Microbes in Tropical Forest Soil // PLoS ONE. 2011. Vol. 6, iss. 4, article no. e19306. DOI: 10.1371/journal.pone.0019306
15. Kara O., Bolat I., Cakiroglu K., Senturk M. Litter Decomposition and Microbial Biomass in Temperate Forests in Northwestern Turkey // Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 2014. Vol. 14, iss. 1. Pp. 31–41. DOI: 10.4067/S0718-95162014005000003
16. Lamarque L.J., Delzon S., Lortie Ch.J. Tree Invasions: A Comparative Test of the Dominant Hypotheses and Functional Traits // Biological Invasions. 2011. Vol. 13, iss. 9. Pp. 1969–1989. DOI: 10.1007/s10530-011-0015-x
17. Polyakova O., Billor N. Impact of Deciduous Tree Species on Litterfall Quality, Decomposition Rates and Nutrient Circulation in Pine Stands // Forest Ecology and Management. 2007. Vol. 253, iss. 1–3. Pp. 11–18. DOI: 10.1016/j.foreco.2007.06.049
18. Porté A.J., Lamarque L.J., Lortie Ch.J., Michalet R., Delzon S. Invasive *Acer negundo* Outperforms Native Species in Non-Limiting Resource Environments Due to Its Higher Phenotypic Plasticity // BMC Ecology. 2011. Vol. 11, article no. 28. DOI: 10.1186/1472-6785-11-28
19. Saccone P., Pagès J.Ph., Girel J., Brun J.-J., Michalet R. *Acer negundo* Invasion along a Successional Gradient: Early Direct Facilitation by Native Pioneers and Late Indirect Facilitation by Conspecifics // New Phytologist. 2010. Vol. 187, iss. 3. Pp. 831–842. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2010.03289.x

20. Wang Q., Wang S., Huang Y. Comparisons of Litterfall, Litter Decomposition and Nutrient Return in a Monoculture *Cunninghamia lanceolata* and a Mixed Stand in Southern China // *Forest Ecology and Management*. 2008. Vol. 255, iss. 3–4. Pp. 1210–1218. DOI: 10.1016/j.foreco.2007.10.026

Поступила 31.01.19

UDC 630\*114.351:581.1:582.76/77

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.73

### **Formation of Floodplain Forest Biogeocenosis Litter with the Participation of *Acer negundo* L.**

**O.L. Tsandekova**, Candidate of Agriculture; ResearcherID: [J-4580-2018](#),

ORCID: [0000-0002-9768-3084](#)

**V.I. Ufimtsev**, Candidate of Biology; ResearcherID: [J-9268-2018](#),

ORCID: [0000-0001-5854-5802](#)

Institute of Human Ecology of the Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of the Siberian Branch of the RAS, prosp. Leningradskiy, 10, Kemerovo, 650065, Russian Federation; e-mail: zandekova@bk.ru, uwy2079@gmail.com

The article presents the results of the influence of box elder (*Acer negundo* L.) litterfall on the forest litter formation in floodplain forest communities. The research object was plant litter collected from different sites of phytogenic fields of *A. negundo* natural stands growing in the floodplain of the Tom River. Sampling was carried out according to the three types of crown density. The outer zone of scattered trees was chosen as a control sample. The vegetation cover was described, and the dominant plant species and their total projective cover were determined within the subcrown, near-front and outer zones of the tree phytogenic field. Just before the research analytical samples were isolated; they were dried to air-dry condition and weighed in order to determine the proportion of each plant fraction. Content of polyphenolic compounds and lignin was determined in the samples. The results' analysis had shown that the crown density of *Acer negundo* L. population, as well as the content of mineral and organic compounds of plant litter, influences the formation of floodplain forest communities' litter. The most intensive mineralization of litter in the soil, especially in the subcrown zone, is found under scattered trees in sparse woodland. Probably this is due to the increased content of nutrients and total absorbed bases, as well as a higher phytomass accumulation, and minimum content of polyphenols and lignin, in comparison with the forest litter of trees from the other studied groups. The research results can be used for the monitoring of natural ecosystems.

**For citation:** Tsandekova O.L., Ufimtsev V.I. Formation of Floodplain Forest Biogeocenosis Litter with the Participation of *Acer negundo* L. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2019, no. 3, pp. 73–81. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.73

**Funding:** The research was carried out within the framework of the state assignment of the Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry of the Siberian Branch of the RAS (project no. 0352-2019-0015)

**Keywords:** box elder, phytogenic field, plant litter, phytomass, phenolic compounds, lignin.

#### REFERENCES

1. Adrianov S.N., Sushenitsa B.A. The role of Phosphorus in Modern Agriculture. *Plodorodie*, 2004, no. 3(18), pp. 13–16.
2. Gamzikov G.P. *Nitrogen in Western Siberia Agriculture*. Moscow, Nauka Publ., 1981. 267 p.
3. GOST 26177-84. *Fodder, Mixed Feeds. Method for Determination of Lignin*. Moscow, Standards Publ., 1984. 3 p.

4. GOST R 54650-2011. *Soils. Determination of Mobile Phosphorus and Potassium Compounds by Kirsanov Method Modified by CINAO*. Moscow, Standartinform Publ., 2013. 11 p.
5. Grodzinskiy A.M. *Allelopathy in the Life of Plants and Their Communities: Basics of Plant Chemical Interference*. Kiev, Naukova Dumka Publ., 1965. 198 p.
6. Dolgikh E.A., Kavelenova L.M. Features of the Chemical Composition of Oak and Linden Litter Depending on the Complex of Forest Site Conditions. *Khimija Rastitel'nogo Syr'ja* [Chemistry of Plant Raw Material], 1999, no. 4, pp. 25–29.
7. Kovaleva N.O., Kovalev I.V. Biotransformation of Lignin in Forest Soils. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2006, no. 3, pp. 57–63.
8. Korenskaya I.M., Ivanovskaya N.P., Izmalkova I.E. *Medicinal Plants and Medicinal Plant Raw Materials Containing Anthracene Derivatives, Simple Phenols, Lignans, Tannins*. Voronezh, VSU Publ., 2007. 87 p.
9. Samarov V.M. *Soils and Climate of the Kuznetsk Depression: Educational Textbook*. Kemerovo, KSAI Publ., 2017. 79 p.
10. Chul'diyene D., Aleynikoviyene Yu., Murashkiyene M., Marozas V., Armolaytis K. Desintegration and Integrity of Organic Compounds and Nutrients in Litter Fall after the Winter Season under Forest Plantations of European Larch, Common Beech and Red Oak in Lithuania. *Pochvovedenie*, 2017, no. 1, pp. 56–63. DOI: 10.7868/S0032180X16110022
11. Shelepova O.V., Vozna L.I. Comparative Evaluation of the Effect of Woody Plant Leaf Litter on Sod-podzolic soils of Arboretum of the MBG RAS. *Byulleten' Glavnogo botanicheskogo sada* [Bulletin of the Main Botanical Garden], 2016, no. 1, iss. 202, pp. 22–26.
12. Austin A.T., Ballaré C.L. Dual Role of Lignin in Plant Litter Decomposition in Terrestrial Ecosystems. *PNAS*, 2010, vol. 107, no. 10, pp. 4618–4622. DOI: 10.1073/pnas.0909396107
13. Balemi T., Negisho K. Management of Soil Phosphorus and Plant Adaptation Mechanisms to Phosphorus Stress for Sustainable Crop Production: A Review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 2012, vol. 12, iss. 3, pp. 547–561. DOI: 10.4067/S0718-95162012005000015
14. DeAngelis K.M., Allgaier M., Chavarria Y., Fortney J.L., Hugenholtz Ph., Simmons B., Sublette K., Silver W.L., Hazen T.C. Characterization of Trapped Lignin-Degrading Microbes in Tropical Forest Soil. *PLoS ONE*, 2011, vol. 6, iss. 4, article no. e19306. DOI:10.1371/journal.pone.0019306
15. Kara O., Bolat I., Cakiroglu K., Senturk M. Litter Decomposition and Microbial Biomass in Temperate Forests in Northwestern Turkey. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 2014, vol. 14, iss. 1, pp. 31–41. DOI: 10.4067/S0718-95162014005000003
16. Lamarque L.J., Delzon S., Lortie Ch.J. Tree Invasions: A Comparative Test of the Dominant Hypotheses and Functional Traits. *Biological Invasions*, 2011, vol. 13, iss. 9, pp. 1969–1989. DOI: 10.1007/s10530-011-0015-x
17. Polyakova O., Billor N. Impact of Deciduous Tree Species on Litterfall Quality, Decomposition Rates and Nutrient Circulation in Pine Stands. *Forest Ecology and Management*, 2007, vol. 253, iss. 1–3, pp. 11–18. DOI: 10.1016/j.foreco.2007.06.049
18. Porté A.J., Lamarque L.J., Lortie Ch.J., Michalet R., Delzon S. Invasive *Acer negundo* Outperforms Native Species in Non-Limiting Resource Environments Due to Its Higher Phenotypic Plasticity. *BMC Ecology*, 2011, vol. 11, article no. 28. DOI: 10.1186/1472-6785-11-28
19. Saccone P., Pagès J.Ph., Girel J., Brun J.-J., Michalet R. *Acer negundo* Invasion along a Successional Gradient: Early Direct Facilitation by Native Pioneers and Late Indirect Facilitation by Conspecifics. *New Phytologist*, 2010, vol. 187, iss. 3, pp. 831–842. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2010.03289.x
20. Wang Q., Wang S., Huang Y. Comparisons of Litterfall, Litter Decomposition and Nutrient Return in a Monoculture *Cunninghamia lanceolata* and a Mixed Stand in Southern China. *Forest Ecology and Management*, 2008, vol. 255, iss. 3–4, pp. 1210–1218. DOI: 10.1016/j.foreco.2007.10.026

Received on January 31, 2019



УДК 634.0.375.4

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.82

## ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ РАСЧЕТНОЙ РЕЙСОВОЙ НАГРУЗКИ НА АНТЕЦЕДЕНТНОЙ СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БЕСЧОКЕРНОЙ ТРЕЛЕВОЧНОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ МАШИННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

*И.Р. Шегельман, д-р техн. наук, проф.; ResearcherID: P-9793-2019,  
ORCID: 0000-0001-5133-4586*

*П.В. Будник, канд. техн. наук, нач. отдела защиты интеллектуальной собственности и изобретательства; ResearcherID: E-1782-2015, ORCID: 0000-0002-8701-4442*  
Петрозаводский государственный университет, просп. Ленина, д. 33, г. Петрозаводск,  
Республика Карелия, Россия, 185910; e-mail: shegelman@onego.ru, budnikpavel@yandex.ru

Повышение эффективности лесопромышленного комплекса не может быть обеспечено без совершенствования методик проектирования лесных машин. Анализ исследований, посвященных данной проблематике, показывает, что этому вопросу уделяется недостаточное внимание. Перед нами стояла задача проанализировать влияние вероятностного характера параметров деревьев на нагрузку от перемещаемой пачки деревьев, действующую на бесчokerную трелевочную систему, а также определить на основе результатов анализа диапазон значений необходимой грузоподъемности самоходного шасси бесчokerной трелевочной системы. Исследования основывались на машинном эксперименте, заключающемся в генерации совокупности деревьев, необходимой для полного заполнения захвата трелевочной системы. Параметры генерируемых деревьев определялись таксационными условиями древостоев Республики Карелия. На основе обработки результатов машинного эксперимента было получено 45 вариационных рядов, характеризующих распределение массы трелеваемой пачки деревьев. С увеличением размера захвата вариационная кривая смещалась в правую сторону по оси массы пачки, а ее форма изменялась. Кривая незначительно растягивалась и становилась более пологой, максимальное значение относительной частоты массы пачки снижалось. Масса пачки деревьев при одном и том же размере захвата колебалась в значительных пределах. Разница между максимальными и минимальными значениями массы пачки находилась в диапазоне 3,7...5,6 т. Увеличение размера захвата приводило к росту разницы между максимальным и минимальным значениями массы пачки. Установлена аналитическая зависимость массы пачки, необходимой для определения грузоподъемности самоходного шасси трелевочной системы, от размера захвата. Рекомендованные значения грузоподъемности самоходного шасси в рассмотренном интервале размеров захвата 1,0...2,2 м<sup>2</sup> находятся в диапазоне 5,5...12,4 т. Полученные результаты могут быть использованы на антецедентной стадии проектирования лесных машин, а также при технико-экономической оценке бесчokerных трелевочных систем, эксплуатируемых в условиях Республики Карелия.

**Для цитирования:** Шегельман И.Р., Будник П.В. Особенности оценки расчетной рейсовой нагрузки на антецедентной стадии проектирования бесчokerной трелевочной системы на основе машинного эксперимента // Лесн. журн. 2019. № 3. С. 82–96. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.82

**Финансирование:** Исследования проведены в рамках реализации гранта Президента Российской Федерации № МК-5321.2018.8.

**Ключевые слова:** бесчokerная трелевка, проектирование машины, грузоподъемность шасси, масса пачки, машинный эксперимент, функция распределения, вероятность.

### *Введение*

Лесная и деревообрабатывающая промышленность – важная компонента экономик многих стран мира [13]. Лесопромышленный комплекс также является значимой частью в структуре экономики многих регионов России [1]. Однако в связи с недостаточно эффективным освоением лесных ресурсов [4] перед научно-техническим сообществом отрасли остро стоит задача по решению этой проблемы.

Повышение эффективности лесопромышленного комплекса не может быть обеспечено без рационализации лесозаготовительных работ. Анализ многих исследований отечественных [2, 9, 10] и зарубежных [16, 21, 29] специалистов показывает, что в основе рационализации должен лежать оптимальный выбор технологий и применяемых лесных машин. При этом в качестве критерия оптимальности могут выступать различные характеристики. В целом чем оптимальнее подобраны лесозаготовительные технологии и комплексы машин к природно-производственным и рыночным условиям, тем выше эффективность лесозаготовок (здесь под эффективностью понимается как экономическая результативность, так и экологическая безопасность).

При таком подходе положительный эффект от оптимального выбора лесных машин зависит от их доступного множества. Если в имеющемся множестве параметры лесных машин в недостаточной мере соответствуют природно-производственным условиям лесозаготовок, положительный эффект от оптимального выбора будет снижен. Параметры лесных машин соответствуют природно-производственным условиям в том случае, если они позволяют осваивать машине лесные ресурсы в определенном районе эксплуатации и обеспечивают экономическую эффективность и экологическую безопасность. Такое соответствие может быть предусмотрено на стадии их проектирования, в частности на antecedentном этапе, на котором устанавливаются основные параметры машины, например необходимая грузоподъемность самоходного шасси, мощность двигателя, вылет манипулятора и др.

Многие исследования касаются проблематики проектирования лесных машин и определения их различных параметров [17, 20]. Однако в них недостаточно уделяется внимания анализу влияния вероятностного характера параметров деревьев при расчетах нагрузок, действующих на машину.

Цель исследования – анализ влияния вероятностного характера параметров деревьев на нагрузку от перемещаемой пачки деревьев, действующую на бесчokerную трелевочную систему, а также определение на основе результатов анализа диапазона значений необходимой грузоподъемности самоходного шасси при проектировании этой системы для условий Республики Карелия.

### *Объекты и методы исследования*

Под бесчokerной трелевочной системой (БТС) понимается как лесная машина, оснащенная зажимным коником и манипулятором, так и машина, снабженная арочным захватом (скиддером). Новизна подхода заключается в учете на основе машинного эксперимента вероятностного характера параметров деревьев при определении диапазона значений необходимой грузоподъемности самоходного шасси БТС.

Расчет нагрузки от перемещаемой пачки деревьев на БТС требует определения ее массы. Из ранее проведенных исследований известно, что масса пачки деревьев на трелевке при одинаковом размере захвата варьируется в значительной степени [23, 25, 28]. Здесь под захватом имеется в виду как арочный захват скиддера, так и зажимной коник бесчokerного трелевочного трактора.

Варьирование преимущественно объясняется вероятностным характером параметров деревьев в пачке. Использование значения массы пачки, рассчитанного на основе средних параметров деревьев, помещающихся в захвате, не приемлемо для определения грузоподъемности самоходного шасси при проектировании БТС. Значительное количество пачек будет иметь большую массу, чем среднее значение, и машина будет работать с частыми перегрузками. Применение значения массы пачки, состоящей из наиболее крупных деревьев в древостое, приведет к тому, что машина будет обладать избыточными параметрами, так как вероятность сбора такой пачки близка нулю. Ввиду варьирования массы трелюемой пачки деревьев существует проблема определения расчетного значения, по которому может быть выбрана необходимая грузоподъемность самоходного шасси БТС.

По нашему мнению, для расчета нагрузки на БТС следует принимать такое значение массы пачки деревьев, которое на практике не будет превышено с определенной вероятностью. Пусть  $M_i$  – масса  $i$ -й пачки деревьев и  $M_i \in \omega$ , где  $\omega$  – некоторое множество пачек деревьев, которые могут быть сформированы в определенных природно-производственных условиях эксплуатации БТС. Множество  $\omega$  имеет минимальное ( $M_{\min}$ ) и максимальное ( $M_{\max}$ ) значения. Примем в качестве  $Q_j$  – некоторое заданное значение массы пачки, используемое для расчета нагрузки на БТС и находящееся в интервале  $[Q_j^{\min}; Q_j^{\max}]$ . Обозначим  $F(M_i)$  – вероятность события, состоящего в том, что  $M_i < X$ , где  $X$  – некоторое значение из интервала  $(M_{\min}; M_{\max})$ . Так как  $M_i$  переменная величина, то  $F(M_i)$  также изменяется и является интегральной функцией распределения значений массы пачки деревьев. Значение  $Q_j$ , по нашему мнению, может быть выбрано из диапазона, в котором  $F(M_i)$  принимает значения 0,90...0,99 ( $F(Q_j^{\min}) = 0,90$ ;  $F(Q_j^{\max}) = 0,99$ ). Оптимальное значение  $F(M_i)$  может быть определено на основе технико-экономического анализа, но в рамках данного исследования этот вопрос не рассматривался. На рис. 1 приведена схема определения значения расчетной массы пачки.

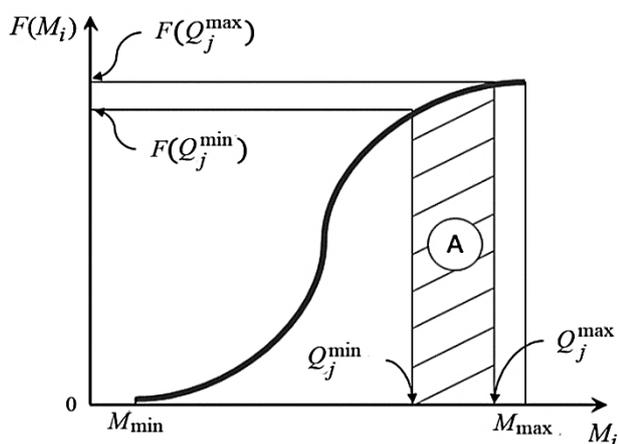


Рис. 1. Схема, поясняющая концепцию определения массы пачки деревьев при проектировании БТС (А – интервал выбора расчетных значений массы пачки)

Fig. 1. Scheme explaining the concept of mass calculation of a tree bundle in the design of a chokerless skidding system (A – interval for selecting calculation values of a tree bundle)

Влияние вероятностного характера параметров деревьев на нагрузку от перемещаемой пачки деревьев можно проанализировать на основе интегральной функции распределения  $F(M_i)$ , диапазон значений необходимой грузоподъемности самоходного шасси БТС определим путем расчета  $Q_j^{\min}$  и  $Q_j^{\max}$ . Таким образом, задача состоит в построении функции распределения значений массы пачки деревьев, которая может разместиться в захвате БТС, и вычисления на ее основе значений  $Q_j^{\min}$  и  $Q_j^{\max}$  при заданных  $F(Q_j^{\min})$  и  $F(Q_j^{\max})$  соответственно.

Существует значительное количество исследований, посвященных изучению эффективности различных моделей трелевочных тракторов [14, 22]. В рамках этих работ накапливаются статистические данные об объемах трелеваемых пачек деревьев, на основе которых с определенной точностью могут быть рассчитаны значения масс пачек. Количество наблюдений в таких исследованиях колеблется от 30 до 300 [15], так как получение данных чрезвычайно трудоемко. Однако этого количества наблюдений недостаточно для определения интегральной функции распределения.

Для решения данной задачи предлагается использовать разработанную авторами методику, основывающуюся на машинном эксперименте и позволяющую спрогнозировать функцию распределения значений массы пачки деревьев. В настоящем исследовании методика, приспособленная к природным условиям Республики Карелия, включает следующие этапы.

На первом этапе устанавливают структуру древостоя по толщине и распределение пород деревьев, характерных для будущей территории эксплуатации БТМ. Структура древостоя по толщине может быть выражена в виде распределения ступеней толщины или вариационного ряда распределения диаметров на высоте груди или в виде установленного закона распределения диаметров в древостое. Структура древостоя по толщине определяется либо для каждой породы, либо без разделения по породам – в случае, если структуры по разным породам идентичны. В данном исследовании для формирования структуры древостоя по толщине использовались данные Г.К. Виногорова [3]. Распределение пород деревьев получено на базе материалов Лесного плана Республики Карелия.

На втором этапе устанавливают параметры форм стволов деревьев путем аналитического описания либо при помощи функции сбега ствола, либо образующей ствола, а также параметры крон. Определению образующей ствола или функции сбега уделено внимание во многих работах [7, 8]. Наши исследования основываются на результатах работы В.К. Захарова [5]. На данном этапе также определяется высота ствола, которая рассчитывается либо на основе имеющихся функций образующих стволов, либо с применением таблиц объемов стволов для соответствующих пород и регионов.

На третьем этапе проводят машинный эксперимент, для чего авторами разработана имитационная модель, реализованная в компьютерной программе [11]. Входными параметрами являются: площадь поперечного сечения захвата ( $S$ , м<sup>2</sup>); вылет комлей деревьев в захвате ( $a$ , м). В ходе машинного эксперимента моделируется множество  $\omega$  и определяются значения  $M_i$ . В данном исследовании рассматриваются значения  $S$ , характерные для БТС, применяемых в Российской Федерации, м: 1,00; 1,10; 1,24; 1,34; 1,48; 1,58; 1,77; 1,95; 2,20. Величина  $a$  варьировалась от 0,5 до 1,5 м. Значения  $a$  приняты на основе результатов исследований, приведенных в работе [12].

На четвертом этапе осуществляют обработку результатов машинного эксперимента. Для этого строят вариационный ряд и интегральную функцию распределения.

На пятом этапе определяют значения  $Q_j^{\min}$  и  $Q_j^{\max}$ , при которых  $F(Q_j^{\min}) = 0,90$ , а  $F(Q_j^{\max}) = 0,99$ . Дополнительно определяют значение  $M_i$  при  $F(M_i) = 0,95$ .

На шестом этапе находят нагрузку на БТС от пачки деревьев путем расчета вертикальной составляющей нормальной силы ( $N_y$ , Н) при  $M_i = Q_j^{\min}$  и  $M_i = Q_j^{\max}$ :

$$N_y = \frac{(E[H_i] - h_c) \cos^2 \left( \arcsin \left( \frac{h + \Delta}{E[H_i] - a} \right) \right)}{E[H_i] - a} M_i g, \quad (1)$$

где  $E[H_i]$  – средняя длина деревьев в пачке, м;  $h_c$  – расстояние от края пачки до центра тяжести, м;  $h$  – расстояние от земли до захвата, м;  $\Delta$  – расстояние от захвата до центра пачки, м;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Выражение (1) получено на основе уравнения моментов. Поясняющая схема представлена на рис. 2.

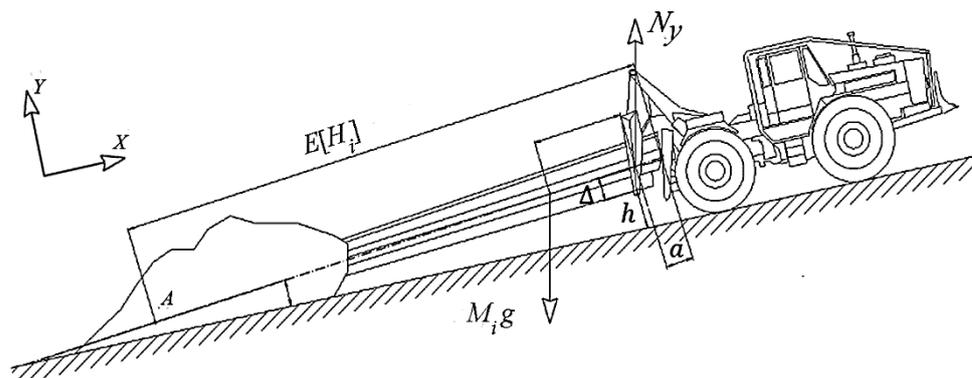


Рис. 2. Схема для расчета вертикальной составляющей нормальной силы ( $N_y$ )

Fig. 2. Scheme for calculating vertical component of the normal force  $N_y$

Расчет величины  $N_y$  осуществлялся при различных значениях  $h$ , м: 0,5; 1,0; 1,5; 2,0. На основе полученных значений  $N_y$  определялся диапазон значений грузоподъемности самоходного шасси БТС для условий Республики Карелия.

#### Результаты исследования и их обсуждение

На основе обработки результатов машинного эксперимента было получено 45 вариационных рядов, характеризующих распределение массы трелюемой пачки деревьев для условий Республики Карелия.

На рис. 3 приведены вариационные кривые масс пачек деревьев при  $a = 0,5$  м для рассматриваемых значений  $S$ .

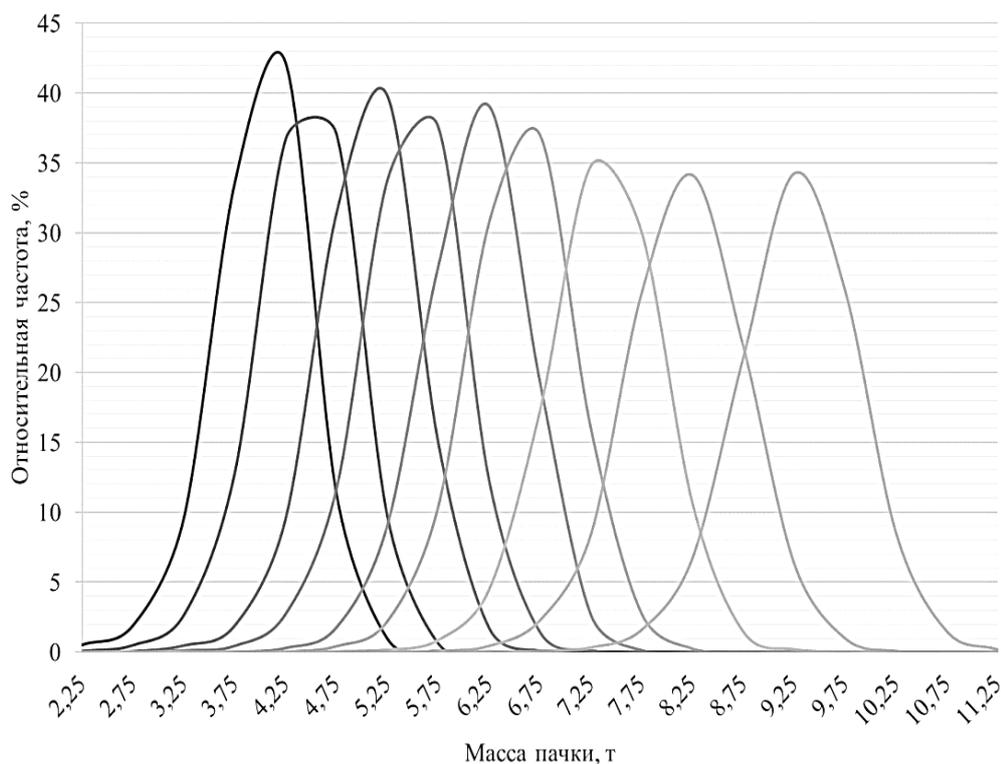


Рис. 3. Вариационные кривые масс пачек деревьев при различных значениях площади поперечного сечения захвата,  $m^2$ : 1,00; 1,10; 1,24; 1,34; 1,48; 1,58; 1,77; 1,95; 2,20 (вылет комлей деревьев в захвате  $a = 0,5$  м)

Fig. 3. Variation mass curves of tree bundles at various values of cross-sectional area of chain grapple,  $m^2$ : 1.00; 1.10; 1.24; 1.34; 1.48; 1.58; 1.77; 1.95; 2.20 (reach of tree butts in chain grapple  $a = 0.5$  m)

Масса пачки деревьев при одном и том же  $S$  колеблется в значительных пределах. С увеличением  $S$  вариационная кривая смещается в правую сторону по оси массы пачки и ее форма изменяется. Кривая незначительно растягивается и становится более полой, а максимальное значение относительной частоты уменьшается. На практике это означает не только увеличение массы трелюемых пачек деревьев, но и возрастание размаха значений массы.

Кроме того, при увеличении размеров захвата разница между вероятностями появления различных значений массы пачек деревьев приближается к вероятности наиболее часто встречающегося значения (к моде).

В целом разница между максимальными и минимальными значениями смоделированных пачек деревьев находилась в диапазоне 3,7...5,6 т. При этом рост  $S$  и  $a$  в рассмотренных диапазонах их изменения приводил к увеличению разброса в интервале 0,2...2,0 т.

Увеличение массы трелюемой пачки деревьев с возрастанием  $S$  и  $a$  имело линейный характер. На рис. 4 представлена зависимость влияния  $S$  и  $a$  на среднее значение массы пачки ( $E[M_i]$ ).

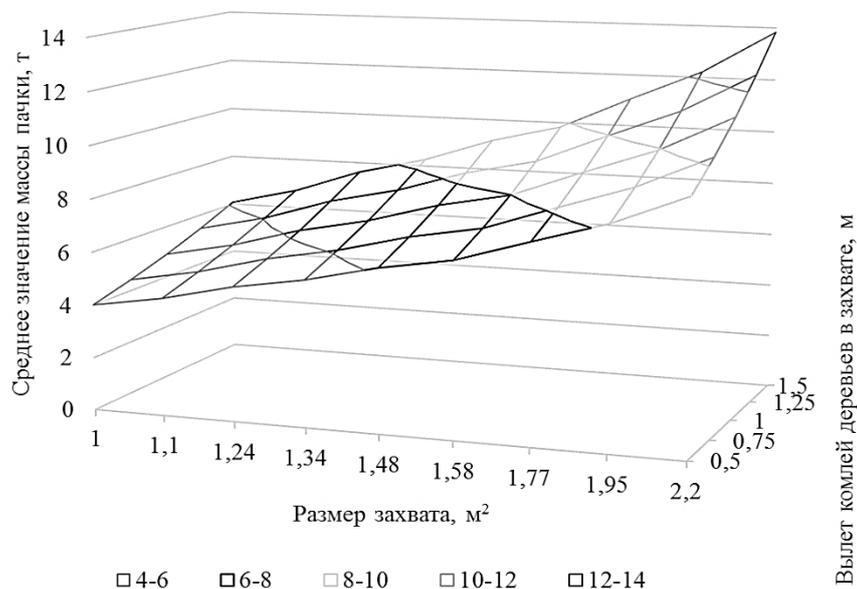


Рис. 4. Зависимость среднего значения массы пачки от площади поперечного сечения (размера) захвата и вылета комлей деревьев в захвате

Fig. 4. Dependence of the average value of tree bundle mass on the cross-sectional area (size) of chain grapple and reach of tree butts in chain grapple

В табл. 1 приведены минимальные ( $M_{\min}$ ), средние ( $E[M_i]$ ) и максимальные ( $M_{\max}$ ) значения масс пачек в зависимости от  $S$  и  $a$ , полученные в ходе машинного эксперимента.

Таблица 1

Минимальные, средние и максимальные значения масс (т) пачек деревьев

Характеристика вариационных кривых	$a$ , м	Масса, т, пачек при $S$ , м <sup>2</sup>								
		1	1,1	1,24	1,34	1,48	1,58	1,77	1,95	2,2
$M_{\min}$	0,50	1,6	2,3	2,8	3,2	3,9	4,0	4,9	5,7	6,8
$E[M_i]$		4,0	4,4	5,1	5,5	6,1	6,6	7,4	8,2	9,3
$M_{\max}$		5,6	6,1	6,8	7,3	8,5	8,9	9,7	10,2	11,4
$M_{\min}$	0,75	2,3	2,7	3,4	3,8	4,7	4,8	5,7	6,6	7,3
$E[M_i]$		4,4	4,9	5,6	6,1	6,7	7,2	8,1	9,0	10,2
$M_{\max}$		6,0	6,5	7,3	7,7	8,3	9,1	10,0	11,0	13,0
$M_{\min}$	1,00	2,5	3,1	3,6	4,4	5,1	5,5	6,7	7,5	8,5
$E[M_i]$		4,9	5,4	6,2	6,7	7,5	8,0	9,0	10,0	11,3
$M_{\max}$		6,3	7,1	7,6	8,4	9,1	9,6	10,7	11,7	13,3
$M_{\min}$	1,25	3,1	3,7	4,5	5,1	6,0	6,4	7,6	8,3	10,1
$E[M_i]$		5,5	6,0	6,9	7,5	8,3	8,9	10,0	11,0	12,5
$M_{\max}$		6,8	7,4	8,6	9,2	9,8	10,5	11,7	12,7	14,3
$M_{\min}$	1,50	3,6	4,3	5,3	5,7	6,8	7,2	8,6	9,7	11,3
$E[M_i]$		6,1	6,7	7,6	8,3	9,2	9,8	11,1	12,2	13,8
$M_{\max}$		7,5	8,0	9,1	9,6	10,5	11,4	12,6	14,1	15,4

В табл. 2 приведены значения масс пачек деревьев, имеющих наибольшую вероятность (моду). В большинстве случаев мода была больше среднего значения, т. е. среднее значение массы пачки деревьев было меньше нижней

границы интервала, указанного в табл. 2. Разница составляла до 1,5 т. Вероятность моды находилась в диапазоне 9...15 %. На практике это означает, что в большинстве случаев значение массы пачки будет отличаться как от среднего значения, так и от моды (с вероятностью 85...91 %).

Таблица 2

**Наиболее вероятные значения масс ( $(M \pm \Delta)$ , т) пачек деревьев**

Размер захвата, м <sup>2</sup>	$a = 0,50$ м		$a = 0,75$ м		$a = 1,00$ м		$a = 1,25$ м		$a = 1,50$ м	
	$M$	$\pm\Delta$								
1,00	4,05	0,12	4,45	0,12	5,04	0,12	5,61	0,12	6,20	0,12
1,10	4,54	0,12	5,10	0,12	5,50	0,12	6,19	0,11	6,88	0,11
1,24	5,11	0,13	5,64	0,12	6,28	0,12	7,01	0,13	7,75	0,12
1,34	5,67	0,13	6,20	0,12	6,81	0,12	7,58	0,13	8,42	0,12
1,48	6,11	0,14	6,90	0,11	7,53	0,13	8,43	0,12	9,31	0,12
1,58	6,69	0,15	7,17	0,14	8,12	0,13	9,01	0,13	10,01	0,13
1,77	7,33	0,15	8,22	0,14	9,11	0,13	10,06	0,13	11,18	0,13
1,95	8,14	0,14	8,98	0,14	10,07	0,13	11,15	0,14	12,34	0,14
2,20	9,32	0,14	10,10	0,18	11,42	0,15	12,64	0,13	14,04	0,13

На основе анализа вариационных кривых были построены интегральные функции распределения  $F(M_i)$ . По данным функциям определены значения  $Q_j^{\min}$  при  $F(Q_j^{\min}) = 0,90$ ,  $Q_j^{\max}$  при  $F(Q_j^{\max}) = 0,99$  и  $Q_j^{0,95} = 0,90$  при  $F(Q_j^{0,95}) = 0,95$ . Полученные результаты приведены в табл. 3. Разница между  $E[M_i]$  и  $Q_j^{\min}$  находилась в интервале 0,4...0,6 т в рассматриваемом диапазоне значений  $a$  и  $S$ , между  $E[M_i]$  и  $Q_j^{0,95}$  – в интервале 0,5...0,8 т, между  $E[M_i]$  и  $Q_j^{\max}$  – в интервале 0,8...1,3 т.

Таблица 3

**Максимальные значения масс (т) трелюемых пачек деревьев, при которых интегральная функция распределения принимает значения 0,90; 0,95; 0,99**

$F(M_i)$	$a$ , м	Масса пачек, т, при $S$ , м <sup>2</sup>								
		1,00	1,10	1,24	1,34	1,48	1,58	1,77	1,95	2,20
$F(Q_j^{\min})$	0,50	4,5	5,0	5,6	6,1	6,7	7,2	8,1	8,9	10,0
$F(Q_j^{0,95})$		4,7	5,1	5,8	6,3	6,9	7,4	8,2	9,1	10,2
$F(Q_j^{\max})$		5,0	5,4	6,1	6,6	7,2	7,7	8,6	9,5	10,6
$F(Q_j^{\min})$	0,75	4,9	5,4	6,1	6,6	7,3	7,8	8,8	9,7	10,9
$F(Q_j^{0,95})$		5,1	5,6	6,3	6,8	7,5	8,0	8,9	9,9	11,1
$F(Q_j^{\max})$		5,3	5,9	6,6	7,1	7,8	8,3	9,3	10,2	11,5
$F(Q_j^{\min})$	1,00	5,4	5,9	6,7	7,3	8,0	8,6	9,6	10,6	11,9
$F(Q_j^{0,95})$		5,5	6,1	6,8	7,4	8,2	8,7	9,8	10,7	12,1
$F(Q_j^{\max})$		5,8	6,3	7,1	7,7	8,5	9,0	10,1	11,0	12,5
$F(Q_j^{\min})$	1,25	5,9	6,5	7,4	8,0	8,8	9,4	10,5	11,6	13,1
$F(Q_j^{0,95})$		6,0	6,6	7,5	8,1	8,9	9,5	10,7	11,7	13,3
$F(Q_j^{\max})$		6,2	6,9	7,7	8,3	9,2	9,8	10,9	12,0	13,6
$F(Q_j^{\min})$	1,50	6,5	7,2	8,1	8,7	9,7	10,3	11,6	12,7	14,4
$F(Q_j^{0,95})$		6,6	7,3	8,2	8,9	9,8	10,4	11,7	12,9	14,5
$F(Q_j^{\max})$		6,8	7,5	8,4	9,1	10,0	10,7	11,9	13,1	14,8

Для расчета  $Q_j^{\min}$  при  $F(Q_j^{\min}) = 0,90$ ;  $Q_j^{\max}$  при  $F(Q_j^{\max}) = 0,99$  и  $Q_j^{0,95}$  при  $F(Q_j^{0,95}) = 0,95$  получено следующее выражение:

$$M = m_1 a + m_2 S + m_3, \quad (2)$$

где  $M$  – масса пачки деревьев при  $F(Q_j^{\min}) = 0,90$ ;  $F(Q_j^{0,95}) = 0,95$ ;  $F(Q_j^{\max}) = 0,99$ , или  $[M_i]$ , т;  $m_1, m_2, m_3$  – коэффициенты, определяемые согласно табл. 4.

Таблица 4

**Коэффициенты для расчета массы пачки деревьев**

Условие, при котором определяется $M$	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$R^2$
$E[M_i]$	3,138	5,380	-3,549	0,985
$F(Q_j^{\min})$	3,000	5,508	-0,47	0,986
$F(Q_j^{0,95})$	2,941	5,550	-2,907	0,986
$F(Q_j^{\max})$	2,838	5,629	-2,635	0,987

Выражение (2) может использоваться для приближенной оценки  $Q_j^{\min}$ ,  $Q_j^{0,95}$  и  $Q_j^{\max}$  в диапазонах  $S$  от 1,1 до 2,2 м<sup>2</sup> и  $a$  от 0,5 до 1,5 м. Отклонение значений, рассчитанных по выражению (2), от значений, полученных в ходе машинного эксперимента, находится в интервале 0,09...0,90 т.

При помощи выражения (1) определены значения  $N_y$  для  $Q_j^{\min}$ ,  $Q_j^{0,95}$  и  $Q_j^{\max}$ . Для приблизительной оценки  $N_y$  на основе анализа результатов машинного эксперимента получено выражение

$$N_y = m_1 a + m_2 h + m_3 S + m_4, \quad (3)$$

где  $N_y$  – вертикальная составляющая нормальной силы для  $Q_j^{\min}$ ,  $Q_j^{0,95}$ ,  $Q_j^{\max}$  и  $E[M_i]$ , кН;  $m_1, m_2, m_3, m_4$  – коэффициенты, определяемые согласно табл. 5.

Таблица 5

**Коэффициенты для расчета вертикальной составляющей нормальной силы**

Условие, при котором определяется $N_y$	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$m_4$	$R^2$
$E[M_i]$	34,357	-0,317	34,357	-24,908	0,981
$Q_j^{\min}$	35,135	-0,315	35,135	-21,842	0,982
$Q_j^{0,95}$	35,406	-0,305	35,406	-21,011	0,983
$Q_j^{\max}$	35,898	-0,320	35,898	-19,312	0,983

Выражения (1) и (3) дают значение вертикальной составляющей нормальной силы при движении БТС на горизонтальном участке. На склонах нагрузка от пачки деревьев перераспределяется. При движении в гору  $N_y$  уменьшается, на спуске в рассмотренном диапазоне  $S$ ,  $a$  и  $h$  значение  $N_y$  увеличивается на 1...3 % по сравнению с рассчитываемым согласно выражению (1). Максимальное значение  $N_y$ , которое может быть достигнуто при движении БТС на спуске, определяется как

$$N_y^{\max} = \frac{E[H_i] - h_c}{E[H_i] - a} M_i g. \quad (4)$$

Как видно из формулы (4),  $N_y$  возрастает с увеличением  $S$  и  $a$  и убывает с ростом  $h$ .

В табл. 6 на основе анализа полученных результатов для БТС, применяемых в условиях Республики Карелия, в рассмотренном диапазоне  $S$ ,  $a$  и  $h$ , приведены диапазоны рекомендованных значений грузоподъемности самоходного шасси в зависимости от  $S$ . Рекомендации сделаны с учетом 25 %-го запаса грузоподъемности и дополнительных 3 % на компенсацию перераспределения нагрузки при работе БТС на спуске.

Таблица 6

**Диапазон рекомендуемых значений грузоподъемности (т) самоходного шасси БТС для условий Республики Карелия**

Диапазон грузоподъемности	Размер захвата, м <sup>2</sup>								
	1,00	1,10	1,24	1,34	1,48	1,58	1,77	1,95	2,20
Минимальный	5,5	6,0	6,8	7,4	8,1	8,7	9,7	10,7	12,1
Максимальный	5,7	6,3	7,1	7,6	8,4	9,0	10,0	11,0	12,4

Запас в 25 % необходим в том числе и для учета динамических нагрузок, которые могут возникать в процессе эксплуатации, а также дополнительных нагрузок на элементы самоходного шасси, появляющихся по причине наличия неровностей на волоке. При определении диапазона рекомендованной грузоподъемности самоходного шасси для БТС рассматривались значения  $N_y$  при  $h = 0,5$  м и  $a = 1,5$  м.

Следует отметить, что  $h$  для трелевочных тракторов, оснащенных зажимным коником и манипулятором, является постоянной величиной. Для большинства моделей скиддеров  $h$  в процессе трелевки может регулироваться.

Оценка массы пачки деревьев обычно проводится в исследованиях, связанных с установлением тяговых характеристик трелевочных тракторов [18, 26, 27]. В работе [24] масса пачки деревьев определялась для расчета движущих сил и расхода топлива кабельного трелевочного трактора. Как и в нашем исследовании, там применялась специально разработанная компьютерная программа. Схемы расчета сил, лежащие в основе компьютерной программы, схожи со схемами, использованными нами. Однако в этой работе не учитывалась вероятностная природа характеристик стволов деревьев, составляющих пачку. В работе [19] вычислялась масса пачки деревьев для оценки эффективности работы трелевочных тракторов. В исследовании также применялась компьютерная программа, основывающаяся на схожих схемах расчета сил, и учитывалась вариация массы пачки деревьев. Однако не учитывалась зависимость вариации массы пачки деревьев от структуры древостоя по толщине. В работе [30] параметры пачки деревьев вычислялись для оценки производительности трелевочных тракторов, а также времени, затрачиваемого на отдельные операции, использовалось компьютерное имитационное моделирование, однако не оценивались грузоподъемность трелевочных тракторов, а также зависимость массы пачки деревьев от структуры древостоя по толщине.

Таким образом, наше исследование является развитием перечисленных выше работ.

Точность расчетов по предложенной нами методике зависит от нескольких факторов. Во-первых, от соответствия структуры древостоя по толщине реальным условиям эксплуатации и моделям форм стволов отдельных деревьев и их крон, используемым при машинном эксперименте. В наших расчетах применены средневзвешенная структура древостоя по толщине для Республики Карелия [3] и модели стволов, построенные по данным В. К. Захарова [5], которые вероятно отличаются от условий эксплуатации на отдельных вырубках. Поэтому погрешности и неопределенности в полученных нами результатах остаются.

Следует также указать на некоторые упрощения в расчетах и имитационной модели. При расчетах величина  $a$  принята константой. На практике вылет комлей деревьев в захвате имеет некоторый разброс. Мы компенсировали это путем включения в исследование диапазона значений  $a$  от 0,5 до 1,5 м. Диапазон принят на основании данных, приведенных в работе [12]. Кроме того, в нашей имитационной модели коэффициент полндревесности пачки деревьев принят как постоянная величина 0,5 в соответствии с работой [12]. В действительности коэффициент изменяется в зависимости от размеров деревьев, составляющих пачку. Это может также приводить к незначительным неточностям в расчетах.

Кроме того, при нахождении вертикальной составляющей нормальной силы положение центра тяжести определялось приблизительно – на основании работы [6] как  $0,38E[H_i]$ . Также при расчетах не учитывался изгиб конца пачки деревьев, что снижает точность результатов.

Дальнейшие направления развития исследований – повышение точности расчетов и применение разработанной методики к другим регионам и лесным машинам. Повышение точности может быть обеспечено путем построения более надежных моделей стволов деревьев и структур древостоев по толщине, учета изменений коэффициента полндревесности пачки деревьев, более точного определения центра тяжести пачки.

#### *Выводы*

1. В условиях Республики Карелия масса пачки деревьев при трелевке колеблется в значительных пределах. Разница между максимальными и минимальными значениями массы пачек составляет 3,7...5,6 т.

2. Увеличение размеров захвата и вылета комлей деревьев в захвате приводит к росту разброса массы пачек в диапазоне 0,2...2,0 т.

3. Вероятность моды массы пачки составляет 9...15 %, т. е. на практике масса трелеваемой пачки деревьев будет отличаться от наиболее вероятной массы пачки с вероятностью 85...91 %.

4. Увеличение среднего значения массы пачки деревьев с возрастанием размера захвата бесчokerной трелевочной системы носит линейный характер.

5. В рассмотренном диапазоне площадей поперечного сечения захвата 1,0...2,2 м<sup>2</sup> рекомендованные значения грузоподъемности находятся в интервале 5,5...12,4 т.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антонова Н.Е. Институциональные изменения в национальном лесном комплексе: оценка пространственных эффектов // Регионалистика. 2018. Т. 5, № 2. С. 21–32. DOI: 10.14530/reg.2018.2.21

2. *Беленький Ю.И., Букалов Д.А.* Особенности представления эффективного критерия формирования технологического процесса лесозаготовительного производства // Изв. СПбЛТА. 2008. № 185. С. 81–85.

3. *Виногоров Г.К.* К методике обоснования расчетных деревьев при решении лесозаготовительных задач // Тр. ЦНИИМЭ. 1972. № 122. С. 52–67.

4. *Григорьева В.В., Соколинская Ю.М.* Ключевые направления обеспечения устойчивого развития предпринимательства в лесном секторе экономики // Вестн. ВГУИТ. 2018. Т. 80, № 2. С. 442–448. DOI: 10.20914/2310-1202-2018-2-442-448

5. *Захаров В.К.* Форма древесных стволов и методы ее исследования // Сб. науч. тр. / Белорус. лесотехн. ин-т им. С.М. Кирова. Минск: Гос. изд-во БССР, Ред. науч.-техн. лит., 1957. Вып. 10. С. 77–91.

6. *Кочегаров В.Г., Бит Ю.А., Меньшиков В.Н.* Технология и машины лесосечных работ: учеб. для вузов. М.: Лесн. пром-сть, 1990. 392 с.

7. *Лебков В.Ф.* Аппроксимация образующей ствола и идентификация его формы функцией распределения // Лесн. журн. 2002. № 5. С. 16–23. (Изв. высш. учеб. заведений).

8. *Петровский В.С., Малышев В.В., Мурзинов Ю.В.* Моделирование параметров древесных стволов в насаждении // Лесотехн. журн. 2012. № 4. С. 18–22.

9. *Скурихин В.И., Корпачев В.П.* Обоснование выбора технологии и машинных комплексов на лесосечных работах // Вестн. КрасГАУ. 2007. № 1. С. 203–209.

10. *Сухих А.Н., Иванов В.А., Сыромаха С.М.* Обоснование технологических параметров универсальной лесозаготовительной машины в условиях лесозаготовительного производства Иркутской области // Вестн. КрасГАУ. 2010. № 7. С. 133–140.

11. *Шегельман И.Р., Будник П.В., Баклагин В.Н.* Оценка рейсовой нагрузки лесного трактора как важнейшего фактора проектирования и создания прогрессивных лесных машин // Современные наукоемкие технологии. 2018. № 11. С. 78–83. DOI: 10.17513/snt.37241

12. *Шегельман И.Р., Скрыпник В.И., Галактионов О.Н.* Техническое оснащение современных лесозаготовок. СПб.: Профи-Информ, 2005. 344 с.

13. *Шуфан Я.* Повышение эффективности деятельности лесопромышленных предприятий на территории Российской Федерации // Системы. Методы. Технологии. 2018. № 1(37). С. 130–135. DOI: 10.18324/2077-5415-2018-1-130-135

14. *Behjou F.K., Majnounian B., Namiranian M., Dvořák J.* Time Study and Skidding Capacity of the Wheeled Skidder Timberjack 450C in Caspian Forests // Journal of Forest Science. 2008. Vol. 54, no. 4. Pp. 183–188. DOI: 10.17221/5/2008-JFS

15. *Borz S.A.* A Review of the Romanian and International Practices in Skidding Operations // The XIV World Forestry Congress “Forests and People: Investing in a Sustainable Future”, September 7–11, 2015, Durban, the Republic of South Africa. Durban, 2015. Pp. 1–11.

16. *Cantú R.P., LeBel L., Gautam Sh.* A Context Specific Machine Replacement Model: A Case Study of Forest Harvesting Equipment // International Journal of Forest Engineering. 2017. Vol. 28, iss. 3. Pp. 124–133. DOI: 10.1080/14942119.2017.1357416

17. *Golyakevich S.A., Goronovskii A.R.* Evaluation of Loading Dynamics and Fatigue Life for a Forwarder Half-Frame Articulation // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2017. Vol. 46, iss. 5. Pp. 463–471. DOI: 10.3103/S1052618817050077

18. *Gray J.P., Vantsevich V.V., Paldan J.* Agile Tire Slippage Dynamics for Radical Enhancement of Vehicle Mobility // Journal of Terramechanics. 2016. Vol. 65. Pp. 14–37. DOI: 10.1016/j.jterra.2016.01.002

19. *Iff R.H., Koger J.L., Burt E.C., Culver E.W.* C-A-R-T-S: Capacity Analysis of Rubber-Tired Skidders // Transactions of the ASAE. 1984. Vol. 27, iss. 3. Pp. 660–664. DOI: 10.13031/2013.32847

20. *Ismoilov A., Sellgren U., Andersson K., Löfgren B.* A Comparison of Novel Chassis Suspended Machines for Sustainable Forestry // Journal of Terramechanics. 2015. Vol. 58. Pp. 59–68. DOI: 10.1016/j.jterra.2015.01.002

21. Kelly M.C., Germain R.H., Bick S. Impacts of Forestry Best Management Practices on Logging Costs and Productivity in the Northeastern USA // *Journal of Forestry*. 2017. Vol. 115, iss. 6. Pp. 503–512. DOI: 10.5849/JOF.2016-031R1
22. Kluender R., Lortz D., McCoy W., Stokes B., Klepac J. Removal Intensity and Tree Size Effects on Harvesting Cost and Profitability // *Forest Products Journal*. 1998. Vol. 48, iss. 1. Pp. 54–59.
23. Kulak D., Stańczykiewicz A., Szewczyk G. Productivity and Time Consumption of Timber Extraction with a Grapple Skidder in Selected Pine Stands // *Croatian Journal of Forest Engineering*. 2017. Vol. 38, iss. 1. Pp. 55–63.
24. Phillips R.A. Skidder Load Capacity and Fuel Consumption HP-41C Program. Res. Pap. NE-537. Broomall, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northwestern Experiment Station; 1983. 7 p.
25. Spinelli R., Magagnotti N. Wood Extraction with Farm Tractor and Sulky: Estimating Productivity, Cost and Energy Consumption // *Small-scale Forestry*. 2012. Vol. 11, iss. 1. Pp. 73–85. DOI: 10.1007/s11842-011-9169-8
26. Stoilov S., Kostadinov G.D. Effect of Weight Distribution on the Slip Efficiency of a Four-Wheel-Drive Skidder // *Biosystems Engineering*. 2009. Vol. 104, iss. 4. Pp. 486–492. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2009.08.011
27. Vechinski C.R., Johnson C.E., Raper R.L. Evaluation of an Empirical Traction Equation for Forestry Tires // *Journal of Terramechanics*. 1998. Vol. 35, iss. 1. Pp. 55–67. DOI: 10.1016/S0022-4898(98)00012-3
28. Vusić D., Šušnjar M., Marchi E., Spina R., Zečić Ž., Picchio R. Skidding Operations in Thinning and Shelterwood Cut of Mixed Stands – Work Productivity, Energy Inputs and Emissions // *Ecological Engineering*. 2013. Vol. 61, part A. Pp. 216–223. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2013.09.052
29. Wang J., Greene W.D. An Interactive Simulation System for Modeling Stands, Harvests, and Machines // *Journal of Forest Engineering*. 2013. Vol. 10, no. 1. Pp. 81–99. DOI: 10.1080/08435243.1999.10702727
30. Wang J., LeDoux Ch.B. Estimating and Validating Ground-Based Timber Harvesting Production through Computer Simulation // *Forest Science*. 2003. Vol. 49, iss. 1. Pp. 64–76. DOI: 10.1093/forestscience/49.1.64

Поступила 15.03.19

UDC 634.0.375.4

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.82

### Features of Calculated Truck Load Estimation at Antecedent Design Stage of Chokerless Skidding System Based on Computer Experiment

*I.R. Shegelman, Doctor of Engineering, Prof.; ResearcherID: [P-9793-2019](#), ORCID: [0000-0001-5133-4586](#)*

*P.V. Budnik, Candidate of Engineering, Head of the Department of Intellectual Property and Invention Protection; ResearcherID: [E-1782-2015](#), ORCID: [0000-0002-8701-4442](#)*  
Petrozavodsk State University, prosp. Lenina, 33, Petrozavodsk, 185910, Russian Federation; e-mail: shegelman@onego.ru, budnikpavel@yandex.ru

Efficiency improving of the forest sector cannot be achieved without development of the forest machines design methods. Analysis of the studies devoted to this issue shows that insufficient attention was paid to it. The research objectives were to analyze the influence of the probabilistic nature of tree parameters on the load from moving tree bundle acting on a chokerless skidding system, and to determine the range of values of the necessary load-carrying capacity of the system's chassis based on the analysis results. The research was based on computer experiment consist of tree bundle generating necessary for the full filling of the skidding system chain grapple. The parameters of generated trees were determined by the taxation conditions of the Karelian Republic forest stands. Forty five variation series characterizing the mass distribution of a skidding tree bundle were obtained based on the computer experiment results processing. The variation curve shifted to the right side along the mass axis of a tree bundle, and its shape changed with the increase of chain grapple size. The curve was stretched slightly and became more flat; the maximum value of the relative

frequency of tree bundle mass decreased. Tree bundle mass fluctuated significantly at the same size of chain grapple. The difference between the maximum and minimum mass values of tree bundles was in the range of 3.7–5.6 tons. It increased with the increase of chain grapple size. The analytical dependence of tree bundle mass necessary for determination the load-carrying capacity of the chokerless skidding system chassis on the chain grapple size was found. The recommended values of the chassis load-carrying capacity in the considered range of chain grapple sizes (1–2.2 m<sup>2</sup>) are in the range of 5.5–12.4 tons. The obtained results can be used at antecedent design stage of forest machines, as well as at technical and economic assessment of chokerless skidding systems operating in the Republic of Karelia.

**For citation:** Shegelman I.R., Budnik P.V. Features of Calculated Truck Load Estimation at Antecedent Design Stage of Chokerless Skidding System Based on Computer Experiment. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2019, no. 3, pp. 82–96. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.82

**Funding:** the research was carried out within the framework of the grant of the President of the Russian Federation no. MK-5321.2018.8.

**Keywords:** chokerless skidding, machine design, lift capacity, mass of tree bundle, computer experiment, distribution function, probability.

#### REFERENCES

1. Antonova N.E. Institutional Changes in the National Forest Complex: The Evaluation of Spatial Effects. *Regionalistica* [Regionalistics], 2018, vol. 5, no 2. pp. 21–32. DOI: 10.14530/reg.2018.2.21
2. Belenkiy Yu.I., Bukalov D.A. Representation Features of an Effective Criterion for Logging Production Technological Process Formation. *Izvestia Sankt-Peterburgskoy Lesotekhnicheskoy Akademii* [News of the Saint Petersburg State Forest Technical Academy], 2008, iss. 185, pp. 81–85.
3. Vinogorov G.K. To the Procedure of Substantiation of Calculated Trees in Solving the Forest Management Issues. *Trudy TsNIIME*, 1972, no. 122, pp. 52–67.
4. Grigoryeva V.V., Sokolinskaya Y.M. Key directions of sustainable development of entrepreneurship in the forest sector of economics. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologiy* [Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies], 2018, vol. 80, no 2, pp. 442–448. DOI: 10.20914/2310-1202-2018-2-442-448
5. Zakharov V.K. Shape of Tree Trunks and Methods of Its Research. *Collection of Academic Papers of the Belarusian Forestry Institute named after S.M. Kirov*, 1957, iss. 10, pp. 77–91.
6. Kochegarov V.G., Bit Yu.A., Men'shikov V.N. *Technology and Machines of Logging Operations: Textbook for Universities*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1990. 392 p.
7. Lebkov V.F. Approximation of Stem Generatrix and its Form Identification by Cumulative Distribution Curve. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2002, no. 5, pp. 16–23.
8. Petrovskiy V.S., Malyshev V.V., Murzinov Yu.V. Parameters Simulation of Tree Trunks in a Stand. *Lesotekhnicheskij Zhurnal* [Forestry Engineering Journal], 2012, no. 4, pp. 18–22.
9. Skurikhin V.I., Korpachev V.P. Choice Substantiation of Technology and Machine Systems for Logging Operations. *Vestnik KrasGAU* [Bulletin of KrasSAU], 2007, no. 1, pp. 203–209.
10. Sukhikh A.N., Ivanov V.A., Syromakha S.M. Substantiation of Technological Parameters of the Universal Logging Machine in Logging Production of Irkutsk Region. *Vestnik KrasGAU* [Bulletin of KrasSAU], 2010, no. 7, pp. 133–140.
11. Shegelman I.R., Budnik P.V., Baklagin V.N. Estimation of the Truck Load of the Forest Tractor as an Important Factor of Designing and Creating Progressive Forest Machines. *Sovremennyye naukoemykiye tekhnologii* [Modern High Technologies], 2018, no. 11, part 1, pp. 78–83. DOI: 10.17513/snt.37241
12. Shegelman I.R., Skrypnik V.I., Galaktionov O.N. *Equipment of Modern Logging*. Saint Petersburg, Profi-Inform Publ., 2005. 344 p.

13. Shufang Y. Increase in efficiency of activity of the timber industry enterprises in the territory of the Russian Federation. *Sistemy. Metody. Tekhnologii* [Systems. Methods. Technologies], 2018, no. 1(37), pp. 130–135. DOI: 10.18324/2077-5415-2018-1-130-135
14. Behjou F.K, Majnounian B., Namiranian M., Dvořák J. Time Study and Skidding Capacity of the Wheeled Skidder Timberjack 450C in Caspian Forests. *Journal of Forest Science*, 2008, vol. 54, no. 4, pp. 183–188. DOI: 10.17221/5/2008-JFS
15. Borz S.A. A Review of the Romanian and International Practices in Skidding Operations. *The XIV World Forestry Congress “Forests and People: Investing in a Sustainable Future”, September 7 – 11, 2015, Durban, the Republic of South Africa*. Durban, 2015, pp. 1–11.
16. Cantú R.P., LeBel L., Gautam Sh. A Context Specific Machine Replacement Model: A Case Study of Forest Harvesting Equipment. *International Journal of Forest Engineering*, 2017, vol. 28, iss. 3, pp. 124–133. DOI: 10.1080/14942119.2017.1357416
17. Golyakevich S.A., Goronovskii A.R. Evaluation of Loading Dynamics and Fatigue Life for a Forwarder Half-Frame Articulation. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*, 2017, vol. 46, iss. 5, pp. 463–471. DOI: 10.3103/S1052618817050077
18. Gray J.P., Vantsevich V.V., Paldan J. Agile Tire Slippage Dynamics for Radical Enhancement of Vehicle Mobility. *Journal of Terramechanics*, 2016, vol. 65, pp. 14–37. DOI: 10.1016/j.jterra.2016.01.002
19. Iff R.H., Koger J.L., Burt E.C., Culver E.W. C-A-R-T-S: Capacity Analysis of Rubber-Tired Skidders. *Transactions of the ASAE*, 1984, vol. 27, iss. 3, pp. 660–664. DOI: 10.13031/2013.32847
20. Ismoilov A., Sellgren U., Andersson K., Löfgren B. A Comparison of Novel Chassis Suspended Machines for Sustainable Forestry. *Journal of Terramechanics*, 2015, vol. 58, pp. 59–68. DOI: 10.1016/j.jterra.2015.01.002
21. Kelly M.C., Germain R.H., Bick S. Impacts of Forestry Best Management Practices on Logging Costs and Productivity in the Northeastern USA. *Journal of Forestry*, 2017, vol. 115, iss. 6, pp. 503–512. DOI: 10.5849/JOF.2016-031R1
22. Kluender R., Lortz D., McCoy W., Stokes B., Klepac J. Removal Intensity and Tree Size Effects on Harvesting Cost and Profitability. *Forest Products Journal*, 1998, vol. 48, iss. 1, pp. 54–59.
23. Kulak D., Stańczykiewicz A., Szewczyk G. Productivity and Time Consumption of Timber Extraction with a Grapple Skidder in Selected Pine Stands. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 2017, vol. 38, iss. 1, pp. 55–63.
24. Phillips R.A. *Skidder Load Capacity and Fuel Consumption HP-41C Program*. Res. Pap. NE-537; Broomall, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northwestern Experiment Station; 1983. 7 p.
25. Spinelli R., Magagnotti N. Wood Extraction with Farm Tractor and Sulky: Estimating Productivity, Cost and Energy Consumption. *Small-scale Forestry*, 2012, vol. 11, iss. 1, pp. 73–85. DOI: 10.1007/s11842-011-9169-8
26. Stoilov S., Kostadinov G.D. Effect of Weight Distribution on the Slip Efficiency of a Four-Wheel-Drive Skidder. *Biosystems Engineering*, 2009, vol. 104, iss. 4, pp. 486–492. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2009.08.011
27. Vechinski C.R., Johnson C.E., Raper R.L. Evaluation of an Empirical Traction Equation for Forestry Tires. *Journal of Terramechanics*, 1998, vol. 35, iss. 1, pp. 55–67. DOI: 10.1016/S0022-4898(98)00012-3
28. Vusić D., Šušnjar M., Marchi E., Spina R., Zečić Ž., Picchio R. Skidding Operations in Thinning and Shelterwood Cut of Mixed Stands – Work Productivity, Energy Inputs and Emissions. *Ecological Engineering*, 2013, vol. 61, part A, pp. 216–223. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2013.09.052
29. Wang J., Greene W.D. An Interactive Simulation System for Modeling Stands, Harvests, and Machines. *Journal of Forest Engineering*, 2013, vol. 10, no. 1, pp. 81–99. DOI: 10.1080/08435243.1999.10702727
30. Wang J., LeDoux Ch.B. Estimating and Validating Ground-Based Timber Harvesting Production through Computer Simulation. *Forest Science*, 2003, vol. 49, iss. 1, pp. 64–76. DOI: 10.1093/forestscience/49.1.64

Received on March 15, 2019

УДК 630\*237.1

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.97

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА РАБОЧЕГО ОРГАНА МАШИНЫ ДЛЯ ПОСЛОЙНОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЧВ

*С.Н. Орловский, канд. техн. наук, доц.; ResearcherID: N-6780-2019,*

*ORCID: 0000-0001-8904-834X*

Красноярский государственный аграрный университет, просп. Мира, д. 90, г. Красноярск, Россия, 660049; e-mail: info@kgau.ru, orlovskiysergey@mail.ru

Обработка почвы под лесные культуры на старых вырубках и гарях является важнейшей технологической операцией искусственного лесовосстановления. Машина для послойного фрезерования почв под посадку лесных культур представляет собой навесной механизм, агрегируемый с гусеничным трелевочным трактором, оборудованным системой отбора мощности и задним навесным механизмом. Особенность агрегата рассматриваемой конструкции заключается в выполнении технологического процесса подготовки почвы под посадку не резанием, а отряхиванием задернелого пласта, подрезанного снизу плоскорезом. При этом корни и травяная растительность удаляются за пределы обрабатываемой полосы, что исключает ее зарастание нежелательной растительностью. При произрастании хвойных пород в дне борозды на средних и тяжелых суглинках отмечаются сильное торможение роста культур, а также значительные анатомические изменения в их строении. Обработка почвы лесными серийными фрезами при малой толщине гумусового слоя приводит к перемешиванию перегнойных почвенных горизонтов с подзолистым горизонтом, при этом обработанный слой оказывается беднее питательными веществами, чем необработанные участки. Предлагается описание конструкции машины для послойного фрезерования почвы, принципа работы и технологии ее применения, приведена методика ее расчета. При использовании агрегата почвенные горизонты не перемешиваются, не происходит снятия плодородного слоя почвы, что улучшает всхожесть семян лесных культур и положительно влияет на рост сеянцев. Обоснование параметров машины при выполнении работ по подготовке почвы под посадку лесных культур вызывает необходимость нахождения связей между кинематическими характеристиками расположения активных рабочих органов машины и внешней средой. Задачи теоретических исследований: выбор кривой расположения сепарирующих роторов машины; факторный анализ процесса сепарации почвенного пласта вибрационными рабочими органами; разработка методики расчета затрат мощности на подрезание почвенного пласта горизонтальным ножом и его отрезание вертикальными стойками. Предложенный технологический процесс значительно менее энергоемок по сравнению с традиционными технологиями. Применение машины для послойного фрезерования лесных почв повышает качество лесовосстановительных работ, увеличивая их эффективность за счет применения новой технологии.

*Для цитирования:* Орловский С.Н. Методика расчета рабочего органа машины для послойного фрезерования лесных почв // Лесн. журн. 2019. № 3. С. 97–109. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.97

*Ключевые слова:* обработка почвы, послойное фрезерование, подрезающий нож, роторы, отряхивание пласта, лесные культуры.

### *Введение*

В связи с современными требованиями по интенсификации и комплексной механизации лесокультурного производства основной обработкой почвы должны создаваться как оптимальные экологические условия для приживаемости, сохранности и роста лесных культур, так и благоприятные технологические условия для качественного проведения механизированной посадки и агротехнических уходов.

При облесении невозобновившихся или слабо возобновившихся хвойными древесными породами вырубок и гарей в лесной зоне наибольшее распространение получила частичная обработка почвы. Однако существующие способы и технологии такой обработки далеко не везде применимы и имеют ряд недостатков. Например, широко распространенная в практике плужная бороздная обработка почвы в отдельных случаях противоречит экологии культивируемых древесных пород. Дно борозды, куда высаживаются сеянцы или саженцы, часто представляет собой нижнюю часть дернового горизонта или верхнюю часть подзолистого горизонта с неблагоприятными водно-физическими свойствами и пониженным плодородием. При произрастании хвойных пород в дне борозды на средних и тяжелых суглинках отмечаются сильное торможение роста культур, а также значительные анатомические изменения в их строении [1, 15]. Количество гумуса в бороздах обычно в 3 раза меньше, чем на необработанных полосах [5, 12, 14]. Весной и в дождливую погоду в бороздах скапливается вода, из-за чего саженцы страдают от кислородного голодания, токсичных для растений закисных соединений, вымокания и выжимания [7].

Перед нами стояли следующие задачи теоретических исследований:

изучить процесс отряхивания почвы с пластов дернины при воздействии на них вибрации, возбуждаемой роторами орудия с улиткообразными косо поставленными ножами;

выбрать кривую расположения продольных осей сепарирующих роторов орудия во взаимосвязи с физико-механическими свойствами сепарируемого дернового пласта;

провести факторный анализ процесса сепарации почвенного пласта вибрационными рабочими органами в зависимости от скорости подачи пласта, окружной скорости роторов, кривизны расположения их продольных осей, степени задернения и толщины пласта;

разработать методику расчета затрат мощности на подрезание почвенного пласта горизонтальным ножом и его отрезание вертикальными стойками [13, 16, 17].

Актуальность данной работы заключалась в снижении затрат энергии на выполнение лесовосстановительных работ, увеличении приживаемости и роста лесных культур, сокращении затрат на выполнение агротехнических уходов за ними, ее новизна – в применении принципиально нового способа обработки почвы, при котором плодородный гумусовый горизонт не перемешивается и не удаляется за пределы лесокультурного посадочного места.

#### *Объекты и методы исследования*

Существующие технологии посадки лесных культур, а также машины и орудия для ее выполнения имеют ряд недостатков. Лесные плуги удаляют за борозды плодородный слой, фрезерные машины измельчают древесные включения, но не удаляют сорную растительность и требуют применения тракторов с ходоуменьшителем [5, 6, 12]. В первом случае ухудшается качество выполнения последующих технологических операций лесовосстановления, во втором – снижается производительность труда и повышается энергоемкость процесса обработки почвы.

Для устранения перечисленных недостатков частичной обработки почвы ВНИИПОМлесхозом была разработана машина для послыойного фрезерования лесных почв МПФ-1,3 (рис. 1), предназначенная для основной полосной обработки почвы под посадку лесных культур на вырубках, гарях и других категориях лесокультурного фонда.

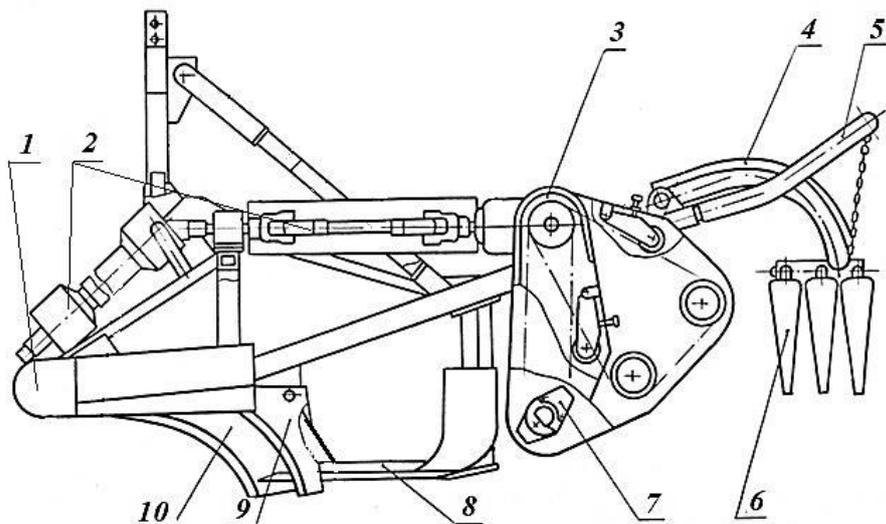


Рис. 1. Схема машины для послойного фрезерования лесных почв: 1 – рама; 2 – карданный вал; 3 – редуктор; 4 – отражатель; 5 – заднее ограждение; 6 – скат; 7 – ротор; 8 – горизонтальный нож; 9 – боковой нож; 10 – средний нож

Fig. 1. Scheme of machine for rotary cultivation of forest soils layer by layer: 1 – frame; 2 – driveshaft; 3 – gearbox; 4 – reflector; 5 – backside protection; 6 – slope; 7 – rotor; 8 – horizontal knife; 9 – side knife; 10 – middle knife

Машина обеспечивает «нулевую» обработку почвы путем послойного рыхления на глубину до 25 см без смешивания почвенных горизонтов с одновременным удалением крупных древесных корней диаметром более 5 см за пределы обрабатываемой полосы. Агрегируют ее с гусеничным лесохозяйственным трактором, оборудованным валом отбора мощности [8, 11].

При количестве пней до 400 шт./га и захламленности лесокультурной площади менее 50 м<sup>3</sup>/га возможно совмещение операций полосной расчистки клином КРП-2,5А с обработкой почвы машиной МПФ-1,3 в агрегате с трактором ЛХТ-4.

Технологический процесс работы машины МПФ-1,3 заключается в следующем. При движении агрегата клинообразная форма передней части рамы раздвигает оставшиеся после предварительной полосной расчистки лесокультурной площади древесные остатки в стороны. Опорная лыжа ограничивает величину заглубления горизонтальных ножей. Вертикальные (9, 10) и горизонтальные ножи вырезают две ленты пластов почвы, которые поднимаются первым по ходу ротором «на себя» и перемещаются дальше поверх следующих роторов, действующих на них снизу.

Первый ротор рыхлит нижний, второй – средний, а третий – верхний слой почвы. При таком воздействии роторов на пласты обеспечивается более близкое к естественному расположение почвенных горизонтов в обработанной почве [1]. Схема расположения роторов и их привода представлена на рис. 2.

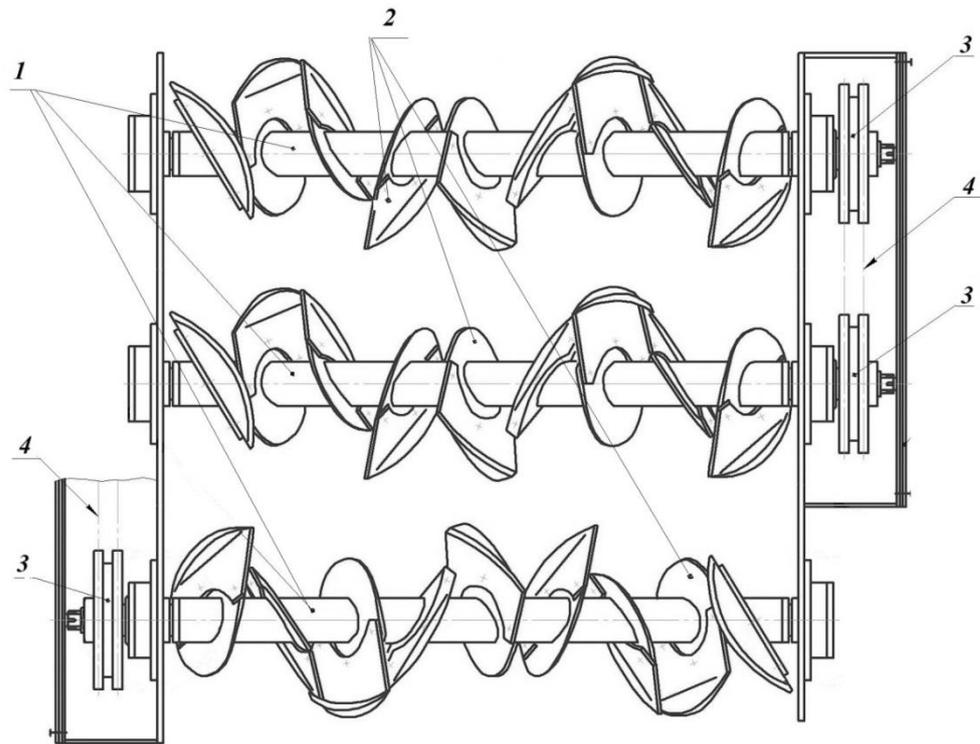


Рис. 2. Конструкция роторов и их привода: 1 – валы роторов; 2 – роторы, 3 – звездочки привода валов роторов; 4 – цепные передачи

Fig. 2. Design of rotors and their drives: 1 – rotor shafts; 2 – rotors; 3 – drive sprockets of rotor shafts; 4 – chain drives

Эффективное крошение почвы достигается за счет того, что роторы, вращаясь с возрастающими окружными скоростями (первый – 324, второй – 390 и третий – 432  $\text{мин}^{-1}$ ), растягивают пласты по длине, а расположение роторов по вогнутой линии способствует их изгибу, при котором верхняя часть пластов сжимается, а нижняя растягивается. В таком деформированном состоянии в пластах появляются поперечные трещины, облегчающие крошение почвы роторами. Расстояние между барабанами соседних роторов не превышает 50 мм, поэтому древесные корни меньшего диаметра проваливаются вместе с частицами почвы, вырезаемыми ножами роторов. Корни же большего диаметра перемещаются дальше и третьим по ходу ротором отбрасываются на отражатель и по поверхности ската (см. рис. 1) опускаются за пределы обрабатываемой полосы [1, 7, 11, 15].

Исследования на макетном образце машины включали как тензометрию в целях определения затрат энергии на выполнение технологического процесса, так и оценку качества крошения почвы (по процентному содержанию фракций соответствующих размеров) при ее обработке фрезой ФБН-1,5 машины МПФ-1,3 и глубины обработки. Перемешивание верхнего гумусового горизонта с подстилающим подзолистым горизонтом оценивалось глубиной размещения контрольных частиц (крашенных горошин) до и после обработки почвы. Также изучались приживаемость и рост кедра сибирского в опытно-производственных культурах на гарях по вариантам обработки почвы. Исследования проводились на территории Ермаковского лесхоза Красноярского края [1].

*Результаты исследования и их обсуждение*

**Выбор кривой расположения сепарирующих роторов.** Эффективная сепарация пласта, вырезаемого ножами, достигается перемещением его по последовательно расположенным роторам, которые, вращаясь в направлении движения пласта, воздействуют на него с нижней стороны. Задернелость пласта возрастает от нижних слоев к верхним пропорционально уменьшению его толщины. Поэтому по мере движения пласта по роторам снижается скорость сепарирования почвы пропорционально оставшейся толщине пласта [1, 10].

Принимая начальную толщину пласта  $a_0$ , найдем зависимость между текущим значением толщины пласта  $a$  и длиной пути  $S$ , пройденного пластом от начала воздействия первого ротора. Скорость просеивания почвы можно представить как отношение производных толщины пласта к длине пути:

$$\frac{da}{dS} = -\mu a,$$

где  $\mu$  – коэффициент пропорциональности.

Знак минус обозначает, что с увеличением пути, проходимым пластом, уменьшается скорость просеивания почвы. Используя метод разделения переменных [2]:

$$da/a = -\mu dS.$$

Интегрируя, получим  $\ln a = -\mu S + \ln C$ , откуда  $a = Ce^{-\mu S}$ . Учитывая начальное условие, найдем  $C = a_0$ . Тогда изменение толщины пласта при его сепарации роторами

$$d = a_0 e^{-\mu S}. \quad (1)$$

Коэффициент пропорциональности  $\mu$  зависит от кинематического режима роторов, их взаимного расположения и состояния пласта дернины. Для повышения эффективности отделения почвенных частиц от пласта необходимо придать ему состояние, при котором он находился бы на грани саморазрушения. Этого состояния можно достичь путем перемещения его по криволинейной траектории, создаваемой роторами. Тогда под действием усилий растяжения в нижней части пласта возникают поперечные трещины, облегчающие отделение почвенных частиц роторами.

Найдем уравнение оптимального изгиба, считая, что один конец пласта закреплен за целину, другой – поднят вверх под воздействием роторов.

Рассмотрим силы, действующие на пласт (рис. 3).

Элементарный участок пласта  $dS$  находится под воздействием следующих сил:

вес пласта  $qdS$ , приложенный в т.  $M$  и направленный вертикально вниз (где  $q$  – интенсивность веса, Н/м);

натяжение пласта  $T$  на концах дуги  $dS$ , возникающее при вращении роторов за счет сил резания почвы рабочими органами и направленное по касательной к линии дуги под углами с осью  $OX$ :  $\varphi$  и  $\varphi + \Delta\varphi$ ;

реакция пласта  $H$  на натяжение его роторами в месте зацепления с целиной.

Натяжение пласта  $T$  на концах дуги  $dS$  разложим на горизонтальные и вертикальные составляющие и найдем сумму их проекций на ось  $OY$ :

$$H \operatorname{tg}(\varphi + \Delta\varphi) - H \operatorname{tg}\varphi - qdS = 0.$$

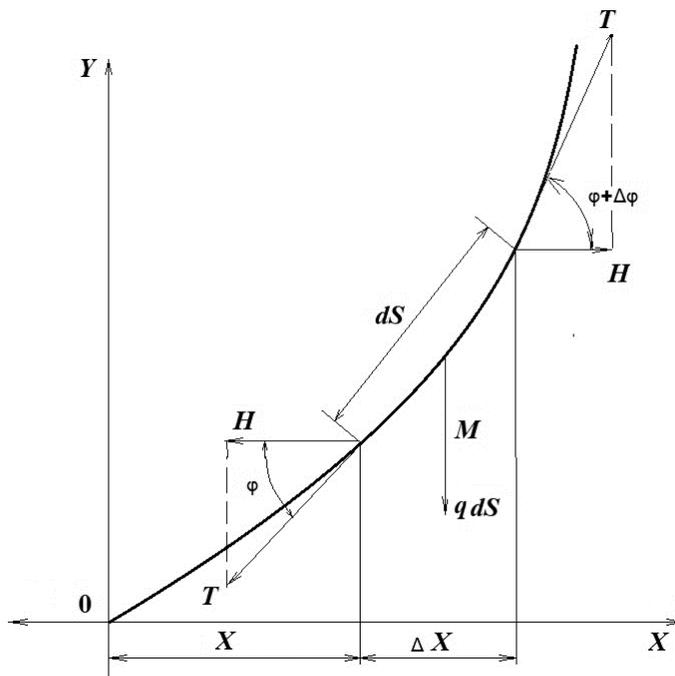


Рис. 3. Схема сил, действующих на почвенный пласт

Fig. 3. Diagram of the forces acting on a soil layer

Подставив

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{dy}{dx}; \quad \operatorname{tg}(\varphi + \Delta\varphi) = \frac{dy(x + \Delta x)}{d(x + \Delta x)},$$

получим

$$H \left[ \frac{dy(x + \Delta x)}{d(x + \Delta x)} - \frac{dy(x)}{dx} \right] - q dS = 0.$$

К выражению в квадратных скобках применим теорему Лагранжа [3]:

$$\frac{d^2 y(x + \Theta \Delta x)}{d(x + \Theta \Delta x)^2} \Delta x \approx \frac{d^2 y(x)}{dx^2} \Delta x, \quad \text{где } 0 < \theta < 1.$$

Полученное выражение подставим в квадратные скобки:

$$H \frac{d^2 y}{dx^2} \Delta x - q \sqrt{1 + \left( \frac{dy}{dx} \right)^2} dx = 0.$$

Для малой дуги  $\Delta x \approx dx$ , тогда

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{q}{H} \sqrt{1 + \left( \frac{dy}{dx} \right)^2} dx. \quad (2)$$

Решим дифференциальное уравнение (2):

$$y = \frac{H}{q} \operatorname{ch} \frac{q}{H} (x - c_1) + c_2.$$

При начальных условиях  $y_{x=0} = 0$ ,  $y'_{x=0} = 0$  найдем  $c_1 = 0$ ;  $c_2 = -\frac{H}{q}$ .

Подставим постоянные  $c_1$  и  $c_2$ :

$$y = \frac{H}{q} ch \frac{q}{H} x - \frac{H}{q}. \quad (3)$$

Упростим выражение, разложив  $ch \frac{q}{H} x$  в ряд Маклорена [2]:

$$ch \frac{q}{H} x = 1 + \frac{1}{2!} \frac{x^2}{\left(\frac{H}{q}\right)^2} + \frac{1}{4!} \frac{x^4}{\left(\frac{H}{q}\right)^4} + \dots$$

Ограничиваясь двумя членами ряда и подставляя в равенство (3), получим уравнение параболической нити:

$$y = \frac{qx^2}{2H}. \quad (4)$$

Интенсивность веса пласта  $q = \gamma ab$  при постоянной его ширине ( $b$ , м) зависит от его толщины  $a$ , где  $\gamma$  – плотность пласта, кг/м<sup>3</sup>. Подставим  $a$  из формулы (1):

$$q = \gamma a_0 b e^{-\mu s}.$$

Реакцию связи пласта с целиной  $H$  выразим через силу натяжения пласта  $T$  рабочими органами ротора:

$$H = T \cos \varphi.$$

После подстановки полученных выражений в уравнение (4) получим уравнение средней линии пласта, соответствующее предельному его изгибу:

$$y = \frac{\gamma a_0 b e^{-\mu s} x^2}{2T \cos \varphi}. \quad (5)$$

Для упрощения расчетов целесообразно длину пласта  $S$  выразить через число роторов  $n$ , располагаемых на равном расстоянии друг от друга. Тогда уравнение (5) запишем в следующем виде:

$$y = \frac{\gamma a_0 b e^{-\mu n} x^2}{2T \cos \varphi}. \quad (6)$$

Для придания пласту оптимального изгиба необходимо, чтобы оси роторов располагались ниже средней линии пласта на величину

$$h = \left( \frac{a}{2} + r \right) \cos \varphi,$$

где  $r$  – радиус барабана ротора.

Запишем ординаты кривой, по которой расположены продольные оси роторов:

$$y_1 = y - h.$$

Подставим в это выражение значение  $y$  из (6):

$$y_1 = \frac{a_0 e^{-\mu n} (\gamma b x^2 - T \cos^2 \varphi) 2TR \cos^2 \varphi}{2T \cos \varphi}. \quad (7)$$

Задаваясь числом  $n$ , можно по формуле (7) определить координаты каждого ротора.

Таким образом, для достижения наилучших условий сепарации почвы от пласта роторами необходимо, чтобы их продольные оси располагались по предлагаемой траектории. Текущая толщина пласта при сепарации почв находится в параболической зависимости от пути, который проходит пласт по роторам.

**Факторный анализ процесса сепарации пласта роторами.** Исследование процесса сепарации почвы роторами, расположенными по параболической кривой и воздействующими снизу на пласт, вырезанный пассивными рабочими органами, проводили на специальном стенде. Перед началом эксперимента из выбранных участков вырубке привозились пласты дернины длиной 0,50 м и шириной 0,25 м разной толщины, в зависимости от варианта опытов. Для отбора пластов были выбраны два участка с дерново-подзолистой почвой различных влажности и степени задернелости. Пласт взвешивался и укладывался на ленточный транспортер. Включением электродвигателей пласт, перемещаясь по роторам, разрыхлялся, и отделенные от нижних слоев частицы почвы просеивались в промежутках между ними. Оставшаяся непросеянная часть пласта попадала в бункер и затем взвешивалась на весах.

Предположим, что основными параметрами, влияющими на работу сепарирующих органов машины, являются кривизна линии расположения осей роторов, расстояние между ними, количество роторов и состояние пласта (механический состав, влажность и задернелость почвы). В эксперименте следует выявить значимость указанных факторов. Учитывая сложность изучаемого процесса, заключающуюся в многообразии факторов, влияющих на сепарацию лесных почв, использовали математическую теорию.

Для составления матрицы планирования эксперимента определяли уровни варьирования факторов. Ввиду того, что кривизну линий, по которой расположены оси роторов, трудно представить в явном виде, заменим ее отклонением конца параболической кривой отложенным по горизонтали от оси первого ротора. Для выявления значимых факторов использовали сверхнасыщенный план (метод случайного баланса), в котором число опытов меньше числа эффектов, а число степеней свободы равно 2.

Из диаграммы рассеивания результатов наблюдений следует, что изменение уровней варьирования от основного не оказывает существенного влияния на процесс сепарации пласта. Это объясняется тем, что увеличение числа роторов более трех и расстояний между ними более диаметра ротора не оказывает существенного влияния на сепарацию.

Полагая, что процесс описывается линейным уравнением, из матрицы планирования опытов можно определить коэффициенты при линейных независимых переменных и их парные взаимодействия. Из парных коэффициентов берем только те, которые существенно влияют на сепарацию пласта.

Коэффициенты уравнения регрессии найдем из матричного уравнения [3]:

$$B = (xx^*)^{-1}x^*y, \quad (8)$$

где  $B$  – матрица-столбец коэффициентов;  $x$  – квадратная матрица;  $x^*$  – транспонированная матрица;  $(xx^*)^{-1}$  – обратная матрица;  $y$  – матрица-столбец результатов опыта.

После решения уравнения получим математическую модель процесса сепарации пласта:

$$y = 0,738 - 0,13x_1 + 7,888x_2 + 1,106x_3 - 0,822x_4 - 1,205x_5 - 0,525x_1x_3 + 0,84x_1x_5 - 0,484x_2x_3 - 5,95x_2x_5. \quad (9)$$

Для проверки гипотезы об адекватности представления результатов опытов линейным уравнением воспользуемся F-критерием Фишера [4]:

$$F = \frac{S_k^2}{S^2\{y\}},$$

где  $S_k^2$  – остаточная дисперсия,  $S_k^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (\bar{y}_i - y^A_i)^2}{N - k - 1} = 0,0239$ ;  $S^2\{y\}$  – диспер-

сия опыта,  $S^2\{y\} = \frac{\sum_{i=1}^N (\bar{y}_i - \bar{y})^2}{N} = 0,0314$ .

Сравним вычисленные значения F с табличными:

$$F_{0,01/4,10} = 0,76 < F = 3,48.$$

Таким образом, процесс сепарации пласта роторами описывается линейным уравнением регрессии, зависящим от пяти основных факторов: скорости подачи пласта, окружной скорости роторов, кривизны расположения продольных осей роторов, степени задержности и толщины пласта.

Изменение уровней варьирования числа роторов и расстояний между ними не оказывает существенного влияния на сепарацию пласта. Это означает, что выбранные величины основных уровней указанных факторов соответствуют оптимальным их значениям.

**Расчет усилий подрезания пласта горизонтальным ножом и его стойками.** Определение тягового сопротивления горизонтального ножа машины для послышного фрезерования производится с учетом сил, представленных на рис. 4.

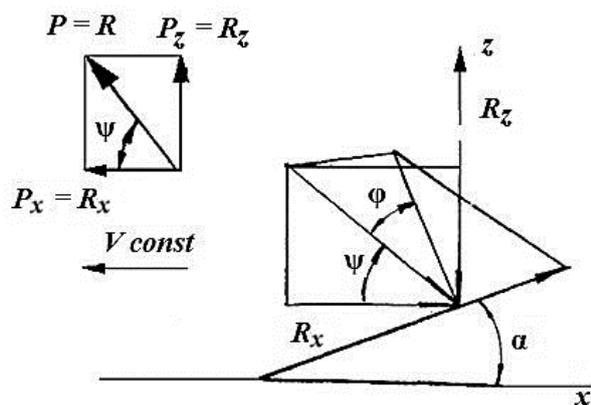


Рис. 4. Схема сил, действующих на горизонтальный нож машины

Fig. 4. Diagram of the forces acting on the machine horizontal knife

При деформации ножом почва оказывает сопротивление в виде нормальной силы  $N$  и силы трения  $Nt\varphi$ . Исходя из условия равновесия сил, определим  $R_x$  и  $R_z$ , проектируя их на оси координат:

$$P_x = N \sin \alpha + N \operatorname{tg} \varphi \cos \alpha = \frac{N}{\cos \varphi} \sin(\alpha + \varphi); \quad (10)$$

$$P_z = N \cos \alpha - N \operatorname{tg} \varphi \sin \alpha = \frac{N}{\cos \alpha} \cos(\alpha + \varphi), \quad (11)$$

где  $N$  – нормальная сила поднимаемого пласта, действующая на рабочую поверхность ножа,  $N = G = ablp_g$ , Н;  $a$ ,  $b$  и  $l$  – толщина, ширина и длина рабочей поверхности ножа, м;  $\rho$  – удельный вес почвы,  $\rho = 1700$  Н/м<sup>3</sup>;  $g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>;  $\alpha$  – угол резания,  $\alpha = 6^\circ$ ;  $\varphi$  – угол трения, при трении почвы по стали  $\varphi = 27^\circ$  [9].

Силу сопротивления движению ножа ( $P$ , Н) определим из выражения

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_z^2}.$$

Общее тяговое сопротивление ножа ( $F_n$ , кН) в горизонтальной плоскости без учета сопротивления от налипания почвы для минеральных суглинистых грунтов найдем из [9]:

$$F_n = 10^{-2} C_{уд} h^{1,35} (1 + 0,1 \delta_n) \left( 1 - \frac{90^\circ - \varphi_n}{180^\circ} \right) k_y, \quad (12)$$

где  $C_{уд}$  – показатель динамического плотномер ДОРНИИ,  $C_{уд} = 2$ ;  $h$  – глубина резания,  $h = 0,20$  м;  $1,35$  – показатель степени, зависящий от  $C_{уд}$  и толщины ножа (берется по данным табл. 3.3 [9]);  $\delta_n$  – толщина ножа,  $\delta_n = 0,0025$  м;  $\varphi_n$  – угол резания (угол наклона лезвия к горизонтальной плоскости),  $\varphi_n = 120^\circ$ ;  $k_y$  – коэффициент, зависящий от угла заострения ножа,  $k_y = 0,74$ .

Тяговое сопротивление стоек ножа ( $F_\Sigma$ , Н) для минеральных грунтов рассчитывается как сумма усилий от резания почвы лезвием, установленным под обратным углом вхождения в почву, и ее раздвигания отвалом с использованием выражения (12):

$$F_\Sigma = F_{рез} + F_{раздв}.$$

Усилие раздвигания почвы отвалами определяется по [9]:

$$F_{раздв} = a_g C_{уд} k_\gamma B^n k_\alpha 10^{-2}, \quad (13)$$

где  $a_g$  – коэффициент, зависящий от типа отвала, угла его наклона;  $k_\gamma$  – коэффициент, учитывающий увеличение горизонтальной составляющей сопротивления раздвиганию почвы в зависимости от угла установки отвала к вертикальной плоскости;  $B$  – ширина отвала, м;  $n$  – показатель степени по данным [9],  $k_\alpha$  – коэффициент, учитывающий трение грунта о параллельные движению части отвала.

Суммарное тяговое сопротивление ножей и стоек составит 2,45 кН.

#### Заключение

Проведенные исследования свидетельствуют о том, что технологические операции, выполняемые машиной МПФ-1.3 для послойного фрезерования лесных почв, более полно отвечают современным требованиям к обработке дренированных почв, создают благоприятные условия для приживаемости и роста лесных культур, а также для качественной работы агрегатов при проведении механизированной посадки и агротехнических уходов за культурами.

Установлено, что при обработке почвы машиной МПФ-1.3 создаются наиболее благоприятные экологические условия – улучшаются водный, воздушный, тепловой и питательный режимы. При подготовке почвы под посадку лесных культур этой машиной за пределы обрабатываемой полосы удаляются корни и вытрясенный дерновый слой с травянистой растительностью, что исключает зарастание саженцев и не требует их дополнительной обработки культиватором.

Послойное фрезерование почвы обеспечивает более высокие показатели приживаемости и роста лесных культур по сравнению с традиционной плужной обработкой, при которой плодородный гумусовый горизонт удаляется за пределы лесокультурного посадочного места.

Более широкое внедрение технологии послойного фрезерования почвы при обработке под лесные культуры позволит повысить эффективность искусственного лесовосстановления, снизить энергозатраты на выполнение технологического процесса.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Батин С.Ю. Метод и результаты количественной оценки вертикального перемещения слоев почвы при обработке машинами фрезерного типа // Молодежь и научно-технический прогресс. Красноярск, 1990. Ч. 2. С. 86–88.
2. Гутер Р.С., Янпольский А.Р. Дифференциальные уравнения: учеб. пособие для вузов. М.: Высш. шк., 1976. 304 с.
3. Ильин В.А., Позняк Э.Г. Основы математического анализа: учеб. М.: Наука. Ч. 1. 1971. 600 с. Ч. 2. 1973. 448 с.
4. Кацев П.Г. Статистические методы исследования режущего инструмента. М.: Машиностроение, 1974. 239 с.
5. Корниенко П.П., Сериков Ю.М., Зинин В.Ф., Казаков В.И. Механизация обработки почвы под лесные культуры. М.: Агропромиздат, 1987. 247 с.
6. Коришун В.Н., Карнаухов А.И., Кухар И.В. Метод анализа технологических машин для лесного хозяйства // Системы. Методы. Технологии. № 2(30). 2016. С. 163–169. DOI: 10.18324/2077-5415-2016-2-163-169
7. Кураев В.Н., Шестакова В.А. Изменение свойств почв при различных способах подготовки их к лесным культурам // Лесоведение. 1970. № 1. С. 75–82.
8. Кухар И.В. Роторная машина для послойной обработки почв // Экологическое образование и природопользование в инновационном развитии региона: сб. ст. по материалам межрегион. науч.-практ. конф. школьников, студентов, аспирантов и молодых ученых (Красноярск, 19 февр. 2014 г.). Т. I. Красноярск: СибГТУ, 2014. С. 80–81.
9. Орловский С.Н. Проектирование машин и оборудования для садово-паркового и ландшафтного строительства: учеб. пособие. Красноярск: СибГТУ, 2004. 108 с.
10. Орловский С.Н., Карнаухов А.И. Теоретические предпосылки к обоснованию параметров и режимов работы роторных рабочих органов // Лесн. журн. 2012. № 4. С. 70–76. (Изв. высш. учеб. заведений).
11. Орловский С.Н., Кухар И.В. Технология послойного фрезерования почв при их обработке под лесные культуры и орудие для ее выполнения // Сиб. лесн. журн. 2017. № 3. С. 74–80. DOI: 10.15372/SJFS20170307
12. Bell B. The Tractor Ploughing Manual. Old Pond Publishing Ltd, 2004. 128 p.
13. Bell B.J., Opperman C., Whittome C. Ploughs and Ploughing Techniques. London: Farming Press Productions, 2002. 131 p.
14. Brigden R. Ploughs and Ploughing. York, UK: Shire Publications, 2008. 32 p.
15. Douglas J.Sh., Hart R.A. Forest Farming: Towards a Solution to Problems of World Hunger and Conservation. Boulder, CO: Westview Press, 1985. 207 p.

16. Fenton G.A., Griffiths D.V. Risk Assessment in Geotechnical Engineering. New Jersey: Wiley, 2008. 480 p.

17. Jones P.C., Hawkend J.H. Stump Grinders. USA, Austin, 2014. 156 p.

Поступила 11.04.18

UDC 630\*237.1

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.97

### Calculation Procedure of Machine Working Body Parameters for Rotary Cultivation of Forest Soils Layer by Layer

S.N. Orlovskiy, Candidate of Engineering, Assoc. Prof.; ResearcherID: [N-6780-2019](#), ORCID: [0000-0001-8904-834X](#)

Krasnoyarsk State Agrarian University, prosp. Mira, 90, Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation; e-mail: info@kgau.ru, orlovskiysergey@mail.ru

Machine for soil rotary cultivation layer by layer before forest crops planting is an attachment mechanism modularized with a track skidder equipped with power take-off system and a rearward suspended device. The feature of the described mechanism is primary soil preparation not exclusively by cutting, but by the means of shaking off a turfy layer cut from beneath with a subsurface cultivator; roots and grass are then removed out of the cultivated zone, thus preventing its recolonization by weeds. Growth of conifers planted on the bottom of furrows made in medium and heavy clay loam is severely decelerated, and significant abnormalities in the morphology of seedlings are observed. Cultivation of soil having thin humus layer with standard forestry rotary cutters results in blending black mold with ash gray horizon, this makes cultivated soil less fertile. The design of machine for soil rotary cultivation layer by layer is suggested; methods of its computation, design, operating principles, and exploitation technology are given. The cultivated soil remains unblended, and its fertile layer is not removed, which improves the conditions for germination of seeds and favoring seedling growth. Substantiation of the machine parameters for soil preparation before forest crops planting makes it necessary to find the correlation between kinematic characteristics of active working bodies and the environment. The tasks of theoretical research included: choice of separating machine rotors arrangement curve; factor analysis of the process of soil layer separation with vibrating working bodies; calculation procedure of power input on undercutting the soil layer with a horizontal knife and its cutting off by the vertical pillars. The suggested technological process demands considerably less energy than traditional procedures. Usage of the machine for forest soil rotary cultivation layer by layer enhances the quality of reforestation works, and decreases its energy costs owing to implementation of a new technology.

**For citation:** Orlovskiy S.N. Calculation Procedure of Machine Working Body Parameters for Rotary Cultivation of Forest Soils Layer by Layer. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2019, no. 3, pp. 97–109. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.97

**Keywords:** soil cultivation, rotary cultivation layer by layer, undercutting knife, rotors, layer shaking off, forest crops.

### REFERENCES

1. Batin S.Yu. A Method and Results of Quantitative Evaluation of Vertical Movement of Soil Layers on Treatment with Rotary Cultivation Machines. *Youth and Scientific and Technological Progress*. Krasnoyarsk, 1990, part 2, pp. 86–88.

2. Guter R.S., Yanpol'skiy A.R. *Differential Equations: Educational Textbook for Universities*. Moscow, Nauka Publ., 1976. 304 p.
3. Il'in V.A., Poznyak E.G. *Fundamentals of Mathematical Analysis: Textbook*. Moscow, Nauka Publ., 1976. 448 p.
4. Katsev P.G. *Statistical Methods of Cutting Tools Research*. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1974. 239 p.
5. Korniyenko P.P., Serikov Yu.M., Zinin V.F., Kazakov V.I. *Mechanization of Soil Cultivation for Forest Crops*. Moscow, Agropromizdat Publ., 1987. 247 p.
6. Korshun V.N., Karnaukhov A.I., Kuhar I.V. Analysis method for forestry technological machines. *Sistemy. Metody. Tekhnologii* [Systems. Methods. Technologies], 2016, no. 2(30), pp. 163–169. DOI: 10.18324/2077-5415-2016-2-163-169
7. Kurayev V.N., Shestakova V.A. Soil Modification by Various Means of Its Cultivation before Artificial Forest Planting. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 1970, no. 1, pp. 75–82.
8. Kukhar I.V. Rotor Machine for Soil Cultivation Layer by Layer. *Ecological Education and Environmental Management in the Innovative Development of the Region: Collection of Academic Papers on the Materials of the Int. Sci.-Pract. Conf. of Schoolchildren, Students, Postgraduate Students, and Young Scientists. Krasnoyarsk, February 19, 2014. Vol. 1*. Krasnoyarsk, SibSAU Publ., 2014, pp. 80–81.
9. Orlovskiy S.N. *Designing Machines and Equipment for Park and Garden Landscaping: Educational Textbook*. Krasnoyarsk, SibSAU Publ., 2004. 108 p.
10. Orlovsky S.N., Karnaukhov A.I. Theoretical Background of Rotary Tools Parameters and Operating Modes. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2012, no. 4, pp. 70–75.
11. Orlovskiy S.N., Kukhar I.V. The Technology of Layer-Specific Rotary Soil Cultivation for Forest Crops and Equipment for Its Implementation. *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* [Siberian Journal of Forest Science], 2017, no. 3, pp. 74–80. DOI: 10.15372/SJFS20170307
12. Bell B. *The Tractor Ploughing Manual*. Old Pond Publishing Ltd, 2004. 128 p.
13. Bell B.J., Opperman C., Whittome C. *Ploughs and Ploughing Techniques*. London, Farming Press Productions, 2002. 131 p.
14. Brigden R. *Ploughs and Ploughing*. York, UK, Shire Publications, 2008. 32 p.
15. Douglas J.Sh., Hart R.A. *Forest Farming: Towards a Solution to Problems of World Hunger and Conservation*. Boulder, CO, Westview Press, 1985. 207 p.
16. Fenton G.A., Griffiths D.V. *Risk Assessment in Geotechnical Engineering*. New Jersey, Wiley, 2008. 480 p.
17. Jones P.C., Hawkend J.H. *Stump Grinders*. USA, Austin, 2014. 156 p.

Received on April 11, 2018

---



## МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 674.419

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.110

### ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ И РЕНТГЕНОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ДЕРЕВОКОМПОЗИЦИОННОГО СЛОИСТОГО МАТЕРИАЛА «ФАНОТРЕН Б»

*И.В. Яцун, канд. техн. наук, доц.; ResearcherID: [G-7651-2019](#), ORCID: [0000-0003-3195-2410](#)*

*А.Г. Гороховский, д-р техн. наук, проф.; ResearcherID: [O-6030-2018](#),  
ORCID: [0000-0001-8847-8217](#)*

*С.А. Одинцева, канд. техн. наук, ст. преподаватель; ResearcherID: [G-7837-2019](#),  
ORCID: [0000-0002-6765-3941](#)*

Уральский государственный лесотехнический университет, ул. Сибирский тракт,  
д. 37, г. Екатеринбург, Россия, 620100; e-mail: [iryatsun@mail.ru](mailto:iryatsun@mail.ru)

Изучены физико-механические и рентгенозащитные свойства нового композиционного материала на основе древесины «Фанотрен Б», состоящего из чередующихся слоев лущеного березового шпона и армирующих рентгенозащитных слоев. Последние представляют собой нетканый материал – синтепон, пропитанный рентгенозащитным составом. Новый композит рекомендуется использовать в местах с повышенным радиационным фоном в качестве конструкционного и отделочного материала, который не содержит в своем составе свинец. Перед нами стояли следующие задачи: исследовать напряженно-деформированное состояние этого материала, определить рациональную рецептуру пропитывающего состава для рентгенозащитного слоя и оценить его физико-механические свойства. Соотношение «напряжение–деформация» материала моделировали методом конечных элементов, физико-механические свойства оценивали по стандартным методикам, защитные свойства рентгенозащитного слоя – величиной свинцового эквивалента по прозрачности изображения на рентгенограмме с использованием люксметра. Показано, что поведение фанеры, армированной рентгенозащитными слоями, под действием внешней нагрузки достаточно точно описывается дифференциальным уравнением изгиба пластин. Моделирование осуществляли на твердотельной модели, которая учитывала механические свойства материалов, входящих в конструкцию, и схему укладки слоев шпона. Установлено, что уменьшение толщины рентгенозащитных слоев ведет к увеличению прогибов и напряжений. Компьютерная модель отразила рост напряжений в местах склеивания материала. Экспериментально определены: состав пропитывающей композиции (минеральный наполнитель – 51 %, связующее – 26 %, вода – 23 %) и технологические режимы формирования материала (расход связующего – 176 г/м<sup>2</sup>, температура прессования – 50 °С, продолжительность склеивания – 8 мин). Материал толщиной 9,5 мм имеет плотность 1600 кг/м<sup>3</sup>; свинцовый эквивалент составляет 0,54 мм Рb/мм; прочность при статическом изгибе вдоль наружных слоев – 39 МПа, при скалывании по клеевому слою – 1,34 МПа, при растяжении вдоль волокон – 53 МПа.

**Для цитирования:** Яцун И.В., Гороховский А.Г., Одинцева С.А. Исследование физико-механических и рентгенозащитных свойств деревокомпозиционного слоистого материала «Фанотрен Б» // Лесн. журн. 2019. № 3. С. 110–120. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.110

*Ключевые слова:* композиционный материал, армированная фанера, защита от рентгеновского излучения, защита от ионизирующего излучения, слоистый древесный материал, композиционная фанера, напряженно-деформированное состояние, физико-механические свойства.

### Введение

Понятие «композиционные материалы» появилось в середине XX в. Этот термин помогает понять генезис материалов, разрабатываемых в настоящее время [8, 9].

Композиционный материал [1, 9] состоит из нескольких компонентов и имеет в своем составе матрицу и армирующие элементы. Свойства такого материала отличаются от свойств каждого из компонентов. Изменяя состав и соотношение матрицы и армирующих элементов, можно получать широкий спектр новых материалов с заранее задаваемыми свойствами. Существенное значение при создании композиционных материалов имеет расположение элементов в конструкции [8, 9].

Материалы, используемые для ослабления рентгеновского излучения, должны обладать высокими плотностью, прочностью, сохранять размеры, быть нетоксичными и т. д. [7]. Известно, что свинец и материалы на его основе широко применяются в качестве рентгенозащитных. Но в последнее время остро стоит вопрос о их замене на более безопасные, не содержащие свинец [4, 5, 7].

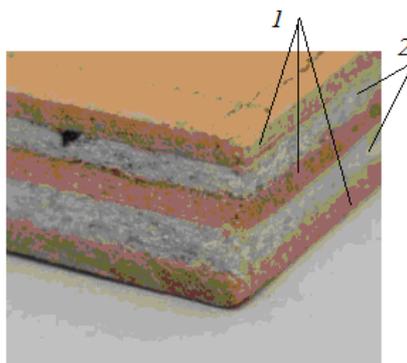
Древесина, обладающая хорошими конструкционно-эксплуатационными свойствами, находит широкое применение в подобных конструкциях в качестве несущей основы (матрицы) [4, 12–14, 16, 18].

Фанеру как слоистый материал, состоящий из склеенных между собой листов шпона, иногда используют в композиции с разными материалами [6, 15, 17, 19, 20].

В Уральском государственном лесотехническом университете разработана конструкция композиционного слоистого материала специального назначения «Фанотрен Б» (фанера от рентгена). Он состоит из слоев лущеного шпона, чередующихся с армирующими рентгенозащитными слоями (РЗС). Основа РЗС – это нетканый материал, пропитанный композицией, включающей минеральный наполнитель (сульфат бария), ПВА-клей и воду [3, 4] (рис. 1).

Рис. 1. Композиционный материал «Фанотрен Б» (лабораторный образец): 1 – слои лущеного шпона; 2 – рентгенозащитные слои

Fig. 1. Composite material “Fanotren B” (laboratory sample): 1 – peeled veneer layers; 2 – X-ray protective layers



Цель работы – исследование напряженно-деформированного состояния деревокомпозиционного материала «Фанотрен Б», а также определение рациональной рецептуры пропитывающего состава для рентгенозащитного слоя и оценка физико-механических свойств этого материала.

#### *Объекты и методы исследования*

Моделирование напряженно-деформированного состояния композиционного слоистого материала осуществляли с применением метода конечных элементов. Физико-механические свойства материала определяли в соответствии с требованиями ГОСТ 9621–72, ГОСТ 9625–84 (СТ СЭВ 2378–80), ГОСТ 9625–09, ГОСТ 9622–87 (СТ СЭВ 2377–80). Рентгенозащитные свойства армирующего слоя оценивали свинцовым эквивалентом [7].

Исследования проводили следующим образом: через образцы материала и фольгу из свинца (толщина 1 мм) рентгенаппаратом пропускали рентгеновские лучи (время экспозиции – 0,02 с, сила тока – 25 мА, напряжение на трубке – 60 кВ). Полученную рентгенограмму оценивали по прозрачности с применением люксметра.

#### *Результаты исследования и их обсуждение*

Композиционный слоистый материал «Фанотрен Б» рекомендуется использовать в качестве конструкционного в местах с повышенным радиационным фоном: в строительных конструкциях (при облицовке стен и потолков, устройстве напольных фанерных покрытий); при изготовлении продукции специализированного назначения (контейнеры, тара, дверные полотна, мебель, защитные экраны, ширмы, жалюзи) и т. д. Материал включает армирующие слои, ослабляющие поток рентгеновского излучения, и слои шпона, которые придают прочность и эстетичность конструкциям. Фанера является многослойным материалом, поэтому необходимо знать закономерности распределения статической нагрузки между отдельными слоями шпона [3, 10].

Теоретические исследования позволили построить математическую модель, описывающую напряженно-деформированное состояние слоистого материала [10].

Известно, что теория прогиба тонких пластин базируется на гипотезах Кирхгофа [11]:

срединная плоскость пластины искривляется, но не деформируется;

любой линейный элемент, перпендикулярный срединной плоскости, остается перпендикулярным к ней и после изгиба, причем длина его не изменяется;

продольные слои пластины не давят друг на друга ( $\sigma_z = 0$ ).

В пластине возникают нормальные ( $\sigma_x, \sigma_y$ ) и касательные ( $\tau_{xz}, \tau_{yz}$ ) напряжения [11]:

$$\sigma_x = \frac{M_x}{I_x} z; \quad \sigma_y = \frac{M_y}{I_y} z,$$

$$\tau_{xz} = \frac{Q_x}{2I_x} \left( \frac{h^2}{4} - z^2 \right); \quad \tau_{yz} = \frac{Q_y}{2I_y} \left( \frac{h^2}{4} - z^2 \right),$$

где  $M_x, M_y$  и  $Q_x, Q_y$  – функции моментов и сил;  $I_x$  – момент инерции прямоугольника относительно оси  $x$ ,  $I_x = \frac{bh^3}{12}$ ;  $I_y$  – момент инерции прямоугольника относительно оси  $y$ ,  $I_y = \frac{b^3h}{12}$ ;  $h$  – толщина пластины;  $b, z$  – соответственно наименьший и наибольший размер пластины.

Основное разрешающее уравнение изгиба пластин – уравнение Софи-Жермен [11], выражает зависимость между прогибами и нагрузкой:

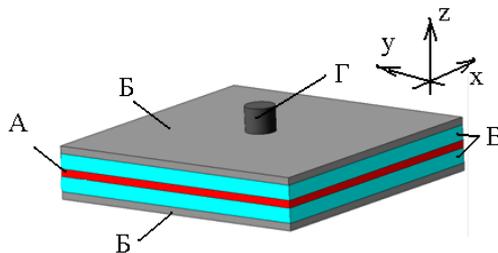
$$\nabla^2 \nabla^2 f = \frac{\partial^4 f}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 f}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 f}{\partial y^4} = \frac{1}{D} q(x, y),$$

где  $f$  – прогиб;  $D$  – жесткость пластины;  $q(x, y)$  – интенсивность распределенной поперечной нагрузки на пластину по площади.

Для определения прочностных характеристик разработанного материала была создана модель пластины, состоящая из слоев А и Б толщиной 1,5 мм – лущеный шпон (слои имеют взаимно перпендикулярное направление волокон древесины); слой В толщиной 3,0 мм – рентгенозащитный слой; Г – металлический пуансон [5, 10] (рис. 2). При моделировании учитывались механические свойства материалов, входящих в конструкцию.

Рис. 2. Твердотельная модель пластины из материала «Фанотрен Б»

Fig. 2. Solid model of a plate made from the “Fanotren B” material



Относительные или простейшие деформации, выявленные в процессе проведения испытаний образцов, были объединены в зону локальной остаточной деформации, в которой и наблюдалось разрушение.

Для моделирования соотношения «напряжение–деформация» разработанного материала использовали метод конечных элементов.

Расчет выполнен в виде полей напряжений по критерию фон Мизеса (рис. 3) и перемещений (рис. 4) [9, 10]. Расчет полей перемещений и напряжений при толщине рентгенозащитного слоя от 1 до 3 мм представлен в табл. 1.

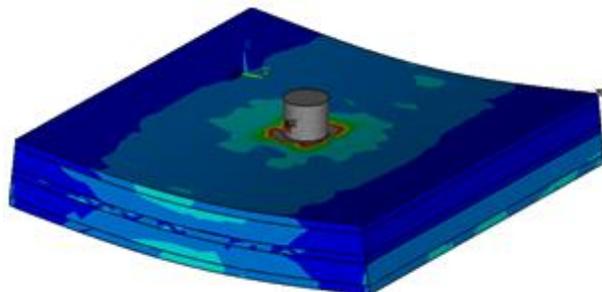


Рис. 3. Поле напряжений по фон Мизесу (максимальное напряжение – 27 МПа)

Fig. 3. Von Mises Stress field (maximum stress – 27 MPa)

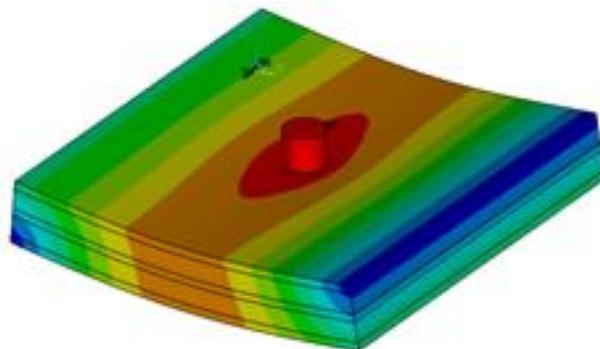


Рис. 4. Поле перемещений (максимальный прогиб – 1,45 мм)

Fig. 4. Displacement field (maximum deflection – 1.45 mm)

Т а б л и ц а 1

## Результаты расчета полей напряжений и перемещений

Толщина РЗС, мм	Напряжение, МПа	Прогиб, мм
1	98	12,8
2	60	5,41
3	27	1,45

Дальнейшие эксперименты по исследованию материала проходили по двум направлениям: определение оптимальной рецептуры пропитывающего состава и рациональных режимов прессования материала.

Определение рецептуры пропитывающего состава для РЗС проводили согласно плану В<sub>3</sub> (Бокса) для трех независимых переменных [2]. Постоянные факторы эксперимента приведены в табл. 2, значения входных параметров и диапазоны их изменения – в табл. 3.

Т а б л и ц а 2

## Постоянные факторы при определении пропитывающего состава для РЗС

№ п/п	Фактор	Значение фактора с ошибкой определения
1	Продолжительность смешивания компонентов, мин	5±1
2	Продолжительность сушки РЗС, ч	48±1
3	Температура прессования, °С	50±2
4	Продолжительность прессования РЗС, мин	5±1
5	Толщина рентгенозащитного слоя, мм	3,0±0,1

Т а б л и ц а 3

## Значения входных параметров и диапазоны их изменений при определении пропитывающего состава для РЗС

№ п/п	Показатель	Переменная	Натуральные значения			Шаг варьирования
			-1	0	+1	
1	Количество наполнителя (сульфата бария), г	$x_1$	150	175	200	25
2	Количество связующего (ПВА-клея), г	$x_2$	100	150	200	50
3	Количество воды, г	$x_3$	80	95	110	15

На основании статистической обработки результатов эксперимента были построены регрессионные модели, адекватно описывающие защитные свойства РЗС:

$$y_1 = 1602,9 + 189,47x_1 - 281,6x_2 - 58,27x_3 - 7,92x_1^2 + 130,75x_2^2 + 23,75x_3^2 - 97,58x_1x_2 + 9,25x_1x_3 - 13,67x_2x_3; \quad (1)$$

$$y_2 = 0,23 + 0,025x_1 - 0,049x_2 - 0,028x_3 + 0,013x_1^2 + 0,015x_2^2 - 0,008x_3^2 + 0,017x_1x_2 - 0,002x_1x_3 - 0,027x_2x_3, \quad (2)$$

где  $y_1$  – плотность рентгенозащитного слоя, кг/м<sup>3</sup>;  $y_2$  – свинцовый эквивалент, мм Pb/мм;  $x_1$  – количество наполнителя, г;  $x_2$  – количество связующего, г;  $x_3$  – количество воды, г.

На рис. 5 приведены поверхности отклика свинцового эквивалента РЗС от количества компонентов, входящих в пропитывающий состав.

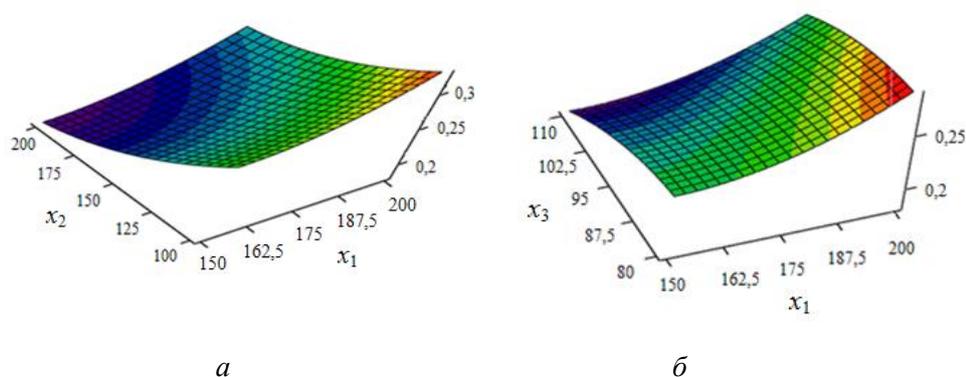


Рис. 5. Поверхность отклика (выходной параметр – свинцовый эквивалент):  $x_1$  – количество наполнителя;  $x_2$  – количество связующего;  $x_3$  – количество воды

Fig. 5. Response surface (output parameter – lead equivalent):  $x_1$  – amount of filler;  $x_2$  – amount of binder;  $x_3$  – amount of water

Уравнения регрессии (1) и (2) использовались для определения оптимальной рецептуры пропитывающего состава с применением метода покоординатного поиска [2]. Была поставлена задача оптимизации:

целевая функция плотности РЗС

$$W_1 = 1602,9 + 189,47x_1 - 281,6x_2 - 58,27x_3 - 7,92x_1^2 + 130,75x_2^2 + 23,75x_3^2 - 97,58x_1x_2 + 9,25x_1x_3 - 13,67x_2x_3 \rightarrow \max; \quad (3)$$

целевая функция свинцового эквивалента РЗС

$$W_2 = 0,23 + 0,025x_1 - 0,049x_2 - 0,028x_3 + 0,013x_1^2 + 0,015x_2^2 - 0,008x_3^2 + 0,017x_1x_2 - 0,002x_1x_3 - 0,027x_2x_3 \rightarrow \max. \quad (4)$$

Для функций (3) и (4) система ограничений имеет следующий вид:

$$-1 \leq x_1 \leq 1;$$

$$-1 \leq x_2 \leq 1;$$

$$-1 \leq x_3 \leq 1.$$

Компромиссная задача была решена методом условного центра масс [2]. Рациональные количества компонентов в пропитывающем составе для РЗС: наполнителя – 197 г ((51±2) %); связующего – 100 г ((26±1) %); воды – 86 г ((23±1) %). Эти значения позволяют получить РЗС плотностью 2354 кг/м<sup>3</sup>, имеющий свинцовый эквивалент 0,27 мм Pb/мм.

Определение режимов прессования слоистого материала проводили аналогично описанному выше. Постоянные факторы эксперимента приведены в табл. 4, значения входных параметров и диапазоны их изменений – в табл. 5.

Т а б л и ц а 4

**Постоянные факторы при определении режимов прессования**

№ п/п	Фактор	Значение фактора
1	Толщина РЗС, мм	3±0,1
2	Состав пропитывающей композиции, %:	
	наполнитель	51
	связующее	26
	вода	23
3	Слойность	3
4	Продолжительность открытой выдержки пакета, мин	6±1

Т а б л и ц а 5

**Значения входных параметров и диапазоны их изменений при определении режимов прессования**

№ п/п	Показатель	Переменная	Натуральные значения			Шаг варьирования
			-1	0	+1	
1	Расход связующего $q$ , г/м <sup>2</sup>	$x_1$	150	175	200	25
2	Температура прессования $t$ , °С	$x_2$	50	60	70	10
3	Продолжительность прессования $\tau$ , мин	$x_3$	6	7	8	1

Полученные результаты использовали для построения регрессионных моделей, описывающих физико-механические свойства материала:

$$y_{изг} = 38,1 + 1,19x_1 - 1,7x_2 + 1,65x_3 - 6,52x_1^2 + 0,23x_2^2 - 4,57x_3^2 + 0,34x_1x_2 - 0,22x_1x_3 + 0,02x_2x_3; \quad (5)$$

$$y_{ск} = 1,21 - 0,012x_1 - 0,086x_2 + 0,18x_3 - 0,27x_1^2 - 0,05x_2^2 - 0,09x_3^2 + 0,11x_1x_2 - 0,005x_1x_3 - 0,004x_2x_3; \quad (6)$$

$$y_p = 52,1 - 0,39x_1 + 0,01x_2 + 1,61x_3 - 2,89x_1^2 - 0,39x_2^2 - 1,7x_3^2 - 1,2x_1x_2 + 0,41x_1x_3 - 1,95x_2x_3, \quad (7)$$

где  $y_{изг}$ ,  $y_{ск}$ ,  $y_p$  – прочность при статическом изгибе, скалывании и растяжении, МПа;  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  – см. в табл. 5.

По регрессионным моделям (5)–(7) были построены поверхности отклика (рис. 6).

Рациональные значения параметров прессования слоистого материала: расход связующего – 176 г/м<sup>2</sup>; температура прессования – 50 °С; продолжительность склеивания – 8 мин.

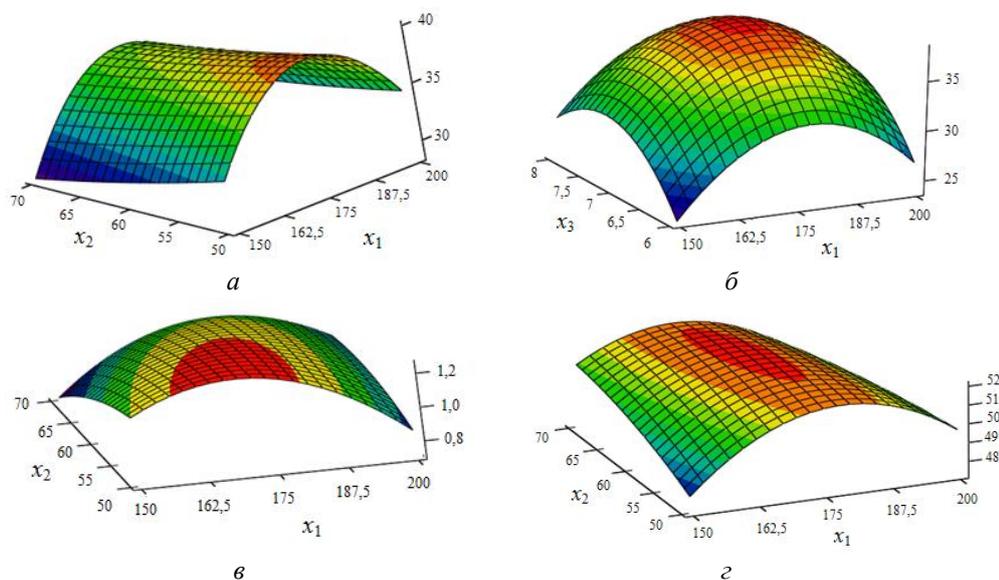


Рис. 6. Поверхность отклика (выходной параметр – прочность при статическом изгибе (а, б), скалывании (в), растяжении (г)):  $x_1$  – расход связующего;  $x_2$  – температура прессования;  $x_3$  – продолжительность прессования

Fig. 6. Response surface (output parameter – cross-breaking strength (а, б); shear strength (в); tensile strength (г)):  $x_1$  – binder consumption;  $x_2$  – pressing temperature;  $x_3$  – pressing time

Показатели физико-механических свойств материала: прочность при статическом изгибе – 39 МПа; прочность при скалывании – 1,34 МПа; прочность при растяжении – 53 МПа.

#### Выводы

1. Уменьшение толщины РЗС ведет к росту прогибов и напряжений в них.
2. Увеличение количества наполнителя и уменьшение количества связующего и воды в пропитывающем составе повышают плотность и защитные свойства РЗС.
3. Оптимальная рецептура пропитывающей композиции, %: содержание минерального наполнителя – 51; содержание воды – 23; содержание связующего – 26.
4. Режимные параметры прессования материала: расход связующего – 176 г/м<sup>2</sup>; температура прессования – 50 °С; продолжительность склеивания – 8 мин.
5. Материал толщиной 9,5 мм (плотность 1600 кг/м<sup>3</sup>, свинцовый эквивалент 0,54 мм Рв/мм) обладает прочностью при статическом изгибе 39 МПа, при скалывании – 1,34 МПа, при растяжении – 53 МПа.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абушенко А.В. Что такое композиционные материалы? Режим доступа: <http://www.dpk-deck.ru/page/compositi-opred.html> (дата обращения: 25.01.2019).
2. Андреев В.Н., Герасимов Ю.Ю. Принятие оптимальных решений: теория и применение в лесном комплексе. Йожсуу, Финляндия: Изд-во ун-та Йоэнсуу, 1999. 200 с.

3. *Ветошкин Ю.И., Коцюба И.В., Яцун И.В., Одинцева С.А.* Общий подход к расчету напряженного деформированного состояния композиционного слоистого материала «Фанотрен Б» с защитными свойствами от рентгеновского излучения // Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 2007. № 8. С. 149–152.
4. *Ветошкин Ю.И., Яцун И.В., Коцюба И.В.* Эксплуатационные свойства композиционных материалов на основе древесины: моногр. Екатеринбург: УГЛТУ, 2018. 100 с.
5. *Ветошкин Ю.И., Яцун И.В., Цой Ю.И.* Композиционный слоистый материал «Фанотрен» // Изв. СПбЛТА. 2015. Вып. 210. С. 149–156.
6. *Волынский В.Н.* Технология клееных материалов: учеб. пособие. Архангельск: Изд-во АГТУ, 1998. 295 с.
7. *Голубев Б.П.* Дозиметрия и защита от ионизирующих излучений. М.; Л.: Гос. науч.-техн. изд-во энергет. лит., 1963. 336 с.
8. *Леонов В.В., Артемьева О.А., Кравцова Е.Д.* Материаловедение и технология композиционных материалов: курс лекций. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2007. 241 с.
9. *Мэттьюс Ф., Ролингс Р.* Композитные материалы. Механика и технология: учеб. М.: Техносфера, 2004. 408 с.
10. *Одинцева С.А., Исаков С.Н., Яцун И.В.* Анализ напряженно-деформированного состояния слоистого материала специального назначения на основе древесины // Деревообраб. пром-сть, 2017. № 4. С. 34–39.
11. *Сидоров В.Н.* Лекции по сопротивлению материалов и теории упругости. М.: Ред.-изд. центр Ген. штаба ВС РФ, 2002. 352 с.
12. *Яцун И.В., Ветошкин Ю.И., Шишкина С.Б.* Применение отходов деревоперерабатывающих производств в изготовлении конструкционных материалов со специфическими свойствами // Лесотехн. журн. 2014. Т. 4, № 3(15). С. 220–229. DOI: 10.12737/6294
13. *Bekhta P., Salca E.-A.* Influence of Veneer Densification on the Shear Strength and Temperature Behavior inside the Plywood during Hot Press // Construction and Building Materials. 2018. Vol. 162. Pp. 20–26. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.11.161
14. *Bekhta P., Sedliacik Y.* Effect of Surface Treatment on Bondability of Birch Veneer with PF Resin // International Wood Products Journal. 2015. Vol. 6, iss. 2. Pp. 49–52. DOI: 10.1179/2042645314y.0000000089
15. *Gilbert B.P.* Compressive Strength Prediction of Veneer-Based Structural Products // Journal of Materials in Civil Engineering. 2018. Vol. 30, iss. 9. DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002417
16. *Kajaks J., Kalnins K., Reihmane S., Bernava A.* Recycled Thermoplastic Polymer Hot Melts Utilization for Birch Wood Veneer Bonding // Progress in Rubber Plastics and Recycling Technology. 2014. Vol. 30, iss. 2. Pp. 87–102. DOI: 10.1177/147776061403000202
17. *Popovska V.J., Antonovic A., Iliev B.* Compressive Strength of Composite Wood-Based Panels // 26th International Conference on Wood Science and Technology (ICWST) Implementation of Wood Science in Woodworking Sector, 2015. Zagreb: Šumarski fakultet, 2015. Pp. 111–117.
18. *Popovska V.J., Iliev B., Zlateski G.* Impact of Veneer Layouts on Plywood Tensile Strength // Drvna Industrija. 2017. Vol. 68(2). Pp. 153–161. DOI: 10.5552/drind.2017.1634
19. *Shamaev V., Efimova T., Ishchenko T.* Production of High Strength Plywood from Birch Wood // Acta Facultatis Xylogiae Zvolen. 2018. Vol. 60(2). Pp. 135–141. DOI: 10.17423/afx.2018.60.2.13
20. *Spulle U., Lipinskis I., Tuherm H.* Some Bending Properties of I-Joists Made with Birch Laminated Plywood Panels // Drewno. 2017. Vol. 60, nr. 200. Pp. 125–134. DOI: 10.12841/wood.1644-3985.157.09

UDC 674.419

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.110

**Study of Physical and Mechanical and X-Ray Protection Properties of Wood-Based Composite Laminated Material “Fanotren B”***I.V. Yatsun, Candidate of Engineering, Assoc. Prof.; ResearcherID: G-7651-2019,**ORCID: 0000-0003-3195-2410**A.G. Gorokhovskiy, Doctor of Engineering, Prof.; ResearcherID: O-6030-2018,**ORCID: 0000-0001-8847-8217**S.A. Odintseva, Candidate of Engineering, Senior Lecturer; ResearcherID: G-7837-2019,**ORCID: 0000-0002-6765-3941*

Ural State Forest Engineering University, ul. Sibirskiy trakt, 37, Yekaterinburg, 620100, Russian Federation; e-mail: iryatsun@mail.ru

Physical and mechanical and x-ray protection properties of new wood-based composite material “Fanotren B”, which consist of alternating layers of peeled birch veneer and reinforcing x-ray protective layers, are studied. The x-ray protective layer is nonwoven fabric – sintepon impregnated with x-ray protective composition; consist of barium sulfate, adhesive based on polyvinyl acetate dispersion and water. The material is recommended to be used in construction and decoration of premises in the areas with high radiation background. A distinctive feature of the developed material is the absence of lead and materials based on it. We had the following research objectives: to study the stress strain behavior of the material; to determine the balanced formulation of saturating composition for the x-ray protective layer; to evaluate its physical and mechanical properties. The stress – strain ratio of the material was simulated by the finite element method, the physical and mechanical properties were evaluated by the standard methods, the protective properties of the x-ray protective layer were measured by the lead equivalent of the image transparency on the radiograph with the use of lux meter. Theoretical studies have shown that the behavior of metal faced plywood under external load is described by the Sophie Germain’s equation with acceptable accuracy. The modeling was carried out on a solid model, which took into account mechanical properties of the materials included in the design and scheme of laying out the veneer layers. The developed model of the stress strain behavior has showed that the decrease of the protective layer thickness leads to the increase of deflections and stresses in it. Computer simulation revealed the stress increase in the areas of bonding the material protective layer and outer side of veneer. The impregnating composition was determined experimentally: mineral filler content is 51 %, binder content is 26 %, and water content is 23 %. The technological modes of composite laminated material formation were determined: binder consumption is 176 g/m<sup>2</sup>; pressing temperature is 50 °C; gluing time is 8 min. The material with the thickness of 9.5 mm has density of 1600 kg/m<sup>3</sup>; a lead equivalent is 0.54 mm Pb/mm; cross-breaking strength along the outer layers is 39 MPa; shear strength along the adhesive layer is 1.34 MPa; tensile strength along the fibers is 53 MPa.

**For citation:** Yatsun I.V., Gorokhovskiy A.G., Odintseva S.A. Study of Physical and Mechanical and X-Ray Protection Properties of Wood-Based Composite Laminated Material “Fanotren B”. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2019, no. 3, pp. 110–120. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.110

**Keywords:** composite material, metal faced plywood, X-ray protection, ionizing radiation protection, laminated wood-based material, composite plywood, stress strain behavior, physical and mechanical properties.

## REFERENCES

1. Abushenko A.V. *What are Composite Materials?* Available at: <http://www.dpk-deck.ru/page/compositi-opred.html> (accessed 25.01.19).

2. Andreev V.N., Gerasimov Yu.Yu. *Making Optimal Decisions: Theory and Application in the Forest Complex*. Finland, Joensuu University Publ., 1999. 200 p.
3. Vetoshkin Yu.I., Kotsyuba I.V., Yatsun I.V., Odintseva S.A. General Approach to the Calculation of the Stress Strain Behavior of the Composite Material “Fanotren B” with the X-Ray Protective Properties. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 2007, no. 8, pp. 149–151.
4. Vetoshkin Yu.I., Yatsun I.V., Kotsyuba I.V. *Operational Properties of Wood-Based Composite Materials*: Monography. Yekaterinburg, USFEU Publ., 2018. 100 p.
5. Vetoshkin Yu.I., Yatsun I.V., Tsoy Yu.I. Composite Laminated Material «Fanotren». *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehnicheskoj Akademii* [News of the Saint Petersburg State Forest Technical Academy], 2015, no. 210, pp. 149–156.
6. Volynskiy V.N. *Technology of Laminated Materials*. Arkhangelsk, ASTU Publ., 1998. 229 p.
7. Golubev B.P. *Dosimetry and Ionizing Radiation Protection*. Moscow, Gosudarstvennoye nauchno-tekhnicheskoye izdatel'stvo energeticheskoy literatury, 1963. 336 p.
8. Leonov V.V., Artem'yeva O.A., Kravtsova E.D. *Materials Science and Technology of Composite Materials*: Lecture Course. Krasnoyarsk, SibFU Publ., 2007. 241 p.
9. Matthews F.L., Rawlings R.D. *Composite Materials. Engineering and Science*. Moscow, Technosphaera Publ., 2004. 408 p.
10. Odintseva S.A., Isakov S.N., Yatsun I.V. Analysis of Stress Strain Behavior of Wood-Based Laminated Material of Special Purpose. *Derevoobrabatival'naya promishlennost'* [Woodworking Industry], 2017, no. 4, pp. 34–40.
11. Sidorov V.N. *Lectures on Mechanics of Materials and Theory*. Moscow, Printing and Publications Center of the General Staff of the Armed Forces of the Russian Federation, 2002. 352 p.
12. Yatsun I.V., Vetoshkin Y.I., Shishkin S.B. Application of Waste Wood of Processing Industries in the Manufacture of Construction Materials with Specific Properties. *Lesotehnicheskij zurnal* [Forestry Engineering Journal], 2014, vol. 4, no. 3(15), pp. 220–229.
13. Bekhta P., Salca E.-A. Influence of Veneer Densification on the Shear Strength and Temperature Behavior inside the Plywood during Hot Press. *Construction and Building Materials*, 2018, vol. 162, pp. 20–26. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.11.161
14. Bekhta P., Sedliacik Y. Effect of Surface Treatment on Bondability of Birch Veneer with PF Resin. *International Wood Products Journal*, 2015, vol. 6, iss. 2, pp. 49–52. DOI: 10.1179/2042645314y.0000000089
15. Gilbert B.P. Compressive Strength Prediction of Veneer-Based Structural Products. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2018, vol. 30, iss. 9. DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002417
16. Kajaks J., Kalnins K., Reihmane S., Bernava A. Recycled Thermoplastic Polymer Hot Melts Utilization for Birch Wood Veneer Bonding. *Progress in Rubber Plastics and Recycling Technology*, 2014, vol. 30, iss. 2, pp. 87–102. DOI: 10.1177/147776061403000202
17. Popovska V.J., Antonovic A., Iliev B. Compressive Strength of Composite Wood-Based Panels. *26th International Conference on Wood Science and Technology (ICWST) Implementation of Wood Science in Woodworking Sector, 2015*. Zagreb, Šumarski fakultet, 2015, pp. 111–117.
18. Popovska V.J., Iliev B., Zlateski G. Impact of Veneer Layouts on Plywood Tensile Strength. *Drvna Industrija*, 2017, vol. 68(2), pp. 153–161. DOI: 10.5552/drind.2017.1634
19. Shamaev V., Efimova T., Ishchenko T. Production of High Strength Plywood from Birch Wood. *Acta facultatis xylologiae Zvolen*, 2018, vol. 60(2), pp. 135–141. DOI: 10.17423/afx.2018.60.2.13
20. Spulle U., Lipinskis I., Tuherm H. Some Bending Properties of I-Joists Made with Birch Laminated Plywood Panels. *Drewno*, 2017, vol. 60, nr. 200, pp. 125–134. DOI: 10.12841/wood.1644-3985.157.09

Received on January 30, 2019

УДК 621.311

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.121

## ВЕРОЯТНОСТНЫЙ АНАЛИЗ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЕЖИМА РАБОТЫ ЛЕСОПИЛЬНЫХ РАМ

*С.П. Агеев<sup>1</sup>, д-р техн. наук, проф.; Publons: 1758124/sergey-ageev, ORCID: 0000-0003-0362-6722*

*А.Н. Минаев<sup>2</sup>, д-р техн. наук, проф.*

*С.И. Рощина<sup>3</sup>, д-р техн. наук, проф.*

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, ул. 2-я Красноармейская, д. 4, Санкт-Петербург, Россия, 190005;

e-mail: doctor.mart11@mail.ru

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, просп. Институтский, д. 5, Санкт-Петербург, Россия, 194021; e-mail: stl@spbtu.ru

<sup>3</sup>Владимирский государственный университет им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, ул. Горького, д. 87, г. Владимир, Россия, 600000;

e-mail: rsi3@mail.ru

Характер процессов деревообработки в значительной мере подвержен влиянию различных случайных факторов. С математической точки зрения эти процессы следует рассматривать как один из случайных видов. Наиболее энергоемким является лесопиление. В нем лесопильная рама и околорамное оборудование составляют отдельный участок, который формирует характер потребления электроэнергии как поточной линией, так и цехом в целом. Поэтому вопросы повышения энергоэффективности деревообрабатывающего производства могут быть решены только путем совместного рассмотрения технологических и энергетических показателей процесса распиловки древесины. Цель исследования – теоретико-вероятностный анализ взаимосвязей показателей работы лесопильных рам, а также нахождение законов распределения и численных характеристик этих показателей как случайных величин при распиловке сортировочной партии бревен. В качестве математической модели работы механизма резания лесопильной рамы использована система массового обслуживания. Применение теории вероятностей позволило установить плотность распределения и числовые характеристики эффективного времени, среднечасовой производительности по распилу сырья, среднечасовой потребляемой мощности, потерь электроэнергии в сети, абсолютного и удельного расходов электроэнергии во взаимосвязи с геометрическими характеристиками сырья и параметрами режима работы лесопильных рам. Показатели потребления электроэнергии носят вероятностный характер и распределены по закону, отличному от нормального. Для упрощения процедуры анализа плотность распределения параметров была аппроксимирована плотностью закона Гаусса. При этом ошибка аппроксимации составила не более 1,71 %. Предложены формулы для расчета характеристик технологических и энергетических показателей работы лесопильных рам.

**Для цитирования:** Агеев С.П., Минаев А.Н., Рощина С.И. Вероятностный анализ взаимосвязей показателей режима работы лесопильных рам // Лесн. журн. 2019. № 3. С. 121–131. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.121

**Ключевые слова:** лесопильная рама, сортировочная партия бревен, потребляемая мощность, расход электроэнергии, потери электроэнергии, распределение вероятностей, характеристики распиливаемого сырья.

### *Введение*

Потребление электроэнергии отдельно взятым механизмом зависит от характера технологической операции, выполняемой им. Лесопильное производство – один из видов процесса деревообработки. При этом затраты электр-

троэнергии на выпуск единицы пилопродукции могут быть необоснованно завышены, а иногда существенно отличаются от нормированных значений. При планировании электропотребления не учитываются взаимосвязи между технологическими показателями производства и удельным потреблением электроэнергии. В этом случае задача повышения энергетической эффективности деревообрабатывающего производства может быть решена при совместном рассмотрении технологической и энергетической составляющих процесса. Вопросам повышения энергоэффективности промышленных предприятий посвящен ряд работ [5, 8, 11–13, 16].

#### *Объекты и методы исследования*

Автором работы [1] была рассмотрена математическая модель лесопильной рамы как однофазной системы массового обслуживания (СМО). Время, затрачиваемое на обслуживание одной заявки (распиловку одного бревна), является непрерывной случайной величиной, распределенной по закону Эрланга. Распиловка отдельных бревен рассматривается как случайный марковский процесс, состоящий из последовательных этапов.

Решению этих задач посвящен также ряд работ зарубежных исследователей, в частности [17–20 и др.], в которых используются различные подходы.

В настоящей статье проанализированы взаимосвязи показателей режима работы лесопильных рам (ЛР), а также определены законы распределения и числовые характеристики этих показателей как случайных величин при распиловке сортировочной партии бревен. Для целей планирования и нормирования электропотребления к числу таких показателей следует отнести:

- эффективное время распиловки  $T_3$  сортировочной партии бревен;
- среднечасовую производительность  $A_3$  по распилу сырья;
- среднечасовую потребляемую мощность  $P_3$ ;
- электроэнергию  $W_3$ , потребляемую двигателем механизма резания ЛР;
- потери электроэнергии  $\Delta W_3$  в сети;
- удельный расход электроэнергии  $d_3$ .

#### *Результаты исследования и их обсуждение*

Определим закон распределения вероятностей  $T_3$ . Тогда длительность распиловки всей группы, состоящей из  $n$  бревен:

$$T_3 = \tau_{31} + \tau_{32} + \dots + \tau_{3n},$$

где  $\tau_{31}, \tau_{32}, \dots, \tau_{3n}$  – эффективное время цикла распиловки 1-го, 2-го и  $n$ -го бревен.

Процесс распиловки группы бревен не является марковским, поскольку продолжительность распиловки каждого бревна  $\tau_3$  распределена по закону Эрланга  $k$ -го порядка [1]:

$$f_k(\tau_3) = \frac{\lambda(\lambda\tau_3)^{k-1}e^{-\lambda\tau_3}}{(k-1)!} \quad (\tau_3 > 0; k = 1, 2, 3, \dots), \quad (1)$$

где  $\lambda$  – параметр закона Эрланга.

Характеристическая функция случайной величины  $\tau_3$  определяется по выражению [6]:

$$\vartheta_{\tau_3} = \left( \frac{\lambda}{\lambda - j\nu} \right)^k,$$

где  $j$  – мнимая единица,  $j = \sqrt{-1}$ ;  $\nu$  – параметр характеристической функции.

С другой стороны, распиловку бревен сортировочной партии можно рассматривать как последовательное выполнение  $kn$  стадий. Тогда рассматриваемый процесс будет марковским. В этом случае характеристическая функция процесса распиловки как случайного процесса будет равна произведению отдельных характеристических функций слагаемых:

$$\vartheta_{T_3} = \left( \frac{\lambda}{\lambda - j\nu} \right)^{kn}.$$

Выполнив над характеристической функцией  $\vartheta_{T_3}$  преобразование Лапласа, найдем плотность распределения эффективного времени  $T_3$  распиловки партии бревен:

$$f(t_3) = \lambda \frac{(\lambda t_3)^{kn-1}}{(kn-1)!} e^{-\lambda t_3}. \quad (2)$$

Воспользовавшись формулой (2), определим математическое ожидание времени эффективной работы ЛР при распиловке одной сортировочной партии бревен:

$$MT_3 = \int_0^{\infty} t_3 f(t_3) dt_3 = \frac{\lambda^{kn}}{(kn-1)!} \int_0^{\infty} t_3^{kn} e^{-\lambda t_3} dt_3.$$

Вычислив интеграл методом интегрирования по частям [9], получим

$$MT_3 = \frac{\lambda^{kn}}{(kn-1)!} \frac{(kn)!}{\lambda^{kn+1}} = \frac{kn}{\lambda} = n\bar{\tau}_3, \quad (3)$$

где  $\bar{\tau}_3$  – среднее время распиловки одного бревна (эффективное время цикла),  $\bar{\tau}_3 = k/\lambda$  [2].

Дисперсия времени эффективной работы

$$\begin{aligned} DT_3 &= \int_0^{\infty} (t_3 - MT_3)^2 f(t_3) dt_3 = \int_0^{\infty} t_3^2 f(t_3) dt_3 - (MT_3)^2 = \\ &= \frac{\lambda^{kn}}{(kn-1)!} \int_0^{\infty} t_3^{kn+1} e^{-\lambda t_3} dt_3 - \left( \frac{kn}{\lambda} \right)^2, \end{aligned}$$

или

$$DT_3 = \frac{\lambda^{kn}}{(kn-1)!} \frac{(kn+1)!}{\lambda^{kn+2}} - \left( \frac{kn}{\lambda} \right)^2 = \frac{kn}{\lambda^2} = nD\tau_3, \quad (4)$$

где  $D\tau_3$  – дисперсия времени распиловки одного бревна [1],  $D\tau_3 = k/\lambda^2$ .

В работе [4] были получены формулы для определения параметров закона Эрланга:

$$\lambda = u \frac{ML}{DL}; \quad k = \frac{(ML)^2}{DL}, \quad (5)$$

где  $L$  – длина бревна.

Из (5) следует, что параметры закона Эрланга, согласно которому распределено эффективное время  $T_3$ , зависят от геометрических параметров бревен в сортировочной партии, а также от скорости подачи ЛР.

Согласно центральной предельной теореме [10] при увеличении показателя  $kn$  распределение Эрланга  $kn$ -го порядка неограниченно приближается к нормальному закону (закону Гаусса).

Для дальнейшего изложения произведем аппроксимацию закона Эрланга нормальным законом с теми же параметрами. Практически удовлетвори-

тельную точность можно получить уже при  $kn \geq 20$  [15]. Поэтому далее эффективное время  $T_3$  распиловки сортировочной партии бревен рассматривается как случайная величина, имеющая нормальное распределение с плотностью вероятности:

$$f(t_3) = \frac{1}{\sigma_{T_3} \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{(t_3 - MT_3)^2}{2DT_3} \right\},$$

где  $\sigma_{T_3}$  – среднее квадратическое отклонение времени  $T_3$ ,  $\sigma_{T_3} = \sqrt{DT_3}$ .

Среднечасовую производительность ( $A_3$ ) ЛР за время распиловки  $T_3$  можно вычислить как

$$A_3 = \frac{Z}{T_3}, \quad (6)$$

где  $Z$  – распиливаемый объем группы бревен,  $m^3$ .

Из (6) следует, что при заданном объеме  $Z$  группы бревен среднечасовая производительность  $A_3$  является функцией случайной величины  $T_3$ , т. е.  $A_3 = \varphi_1(T_3)$  также является случайной величиной.

Применяя методику, изложенную в [7], последовательно находим:

$$T_3 = \psi_1(A_3) = \frac{Z}{A_3}; \quad |\psi'_1(A_3)| = \frac{Z}{A_3^2};$$

$$g(A_3) = f(\psi_1(A_3)) |\psi'_1(A_3)|,$$

откуда

$$g(A_3) = \frac{Z}{\sigma_{T_3} A_3^2 \sqrt{2\pi}} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{Z - MT_3 A_3}{A_3 \sigma_{T_3}} \right)^2 \right]. \quad (7)$$

Из выражения (7) следует, что среднечасовая производительность ЛР за эффективное время, как случайная величина, распределена не по закону Гаусса. Аппроксимируем (7) плотностью нормального распределения, сохранив основные характеристики случайной величины  $A_3$ . При этом средняя ошибка аппроксимации  $A = 1,71$  %.

Математическое ожидание среднечасовой производительности

$$MA_3 = M[\varphi_1(T_3)] = \int_0^{\infty} \varphi_1(T_3) f(t_3) dt_3 = \frac{Z}{\sigma_{T_3} \sqrt{2\pi}} \int_0^{\infty} \frac{1}{t_3} \exp \left\{ -\frac{(t_3 - MT_3)^2}{2DT_3} \right\} dt_3.$$

Вычислим интеграл методом подстановки:

$$MA_3 = \frac{Z}{MT_3}.$$

Приравняв плотности распределения (7) и нормального закона, получим:

$$\frac{Z}{\sigma_{T_3} A_3^2 \sqrt{2\pi}} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{Z - MT_3 A_3}{A_3 \sigma_{T_3}} \right)^2 \right] = \frac{1}{\sigma_{A_3} \sqrt{2\pi}} \exp \left\{ -\frac{(A_3 - MA_3)^2}{2DA_3} \right\}. \quad (8)$$

Подставим значение  $A_3 = MA_3$  в (8):

$$\frac{Z}{\sigma_{T_3} (MA_3)^2 \sqrt{2\pi}} = \frac{1}{\sigma_{A_3} \sqrt{2\pi}},$$

откуда среднее квадратическое отклонение среднечасовой производительности

$$\sigma_{A_3} = \sigma_{T_3} \frac{(MA_3)^2}{Z}. \quad (9)$$

В этом случае дисперсию среднечасовой производительности ЛР по распилу сырья за эффективное время  $T_3$  можно вычислить по следующей формуле:

$$DA_3 = DT_3 \frac{(MA_3)^4}{Z^2}.$$

Найдем связь показателей производительности со средним временем распиловки бревна:

$$MA_3 = \frac{Z}{n\bar{\tau}_3} = \frac{\bar{V}_6}{\bar{\tau}_3} \quad \text{и} \quad DA_3 = \frac{(\bar{V}_6)^2 D\tau_3}{n(\bar{\tau}_3)^4},$$

где  $\bar{V}_6$  – средний объем бревна в сортировочной партии,  $\bar{V}_6 = Z/n$ .

Из формулы для дисперсии следует, что при увеличении количества бревен  $n$  в сортировочной партии дисперсия производительности уменьшается, т. е. среднечасовая производительность становится все более неслучайной величиной.

Среднее время распиловки одного бревна для каждого постава может быть найдено по формуле [14]:

$$\bar{\tau}_3 = \frac{100ML}{6\Delta_p n_b},$$

где  $\Delta_p$  – расчетная посылка, мм;  $n_b$  – частота вращения коленчатого вала лесопильной рамы, об/мин.

В работе [3] получено выражение для энергетической характеристики электропривода механизма резания ЛР:

$$P_3 = P_{\text{пост}} + c_d \sqrt{A_3} = P_{\text{пост}} + c_d \sqrt{\frac{Z}{T_3}}, \quad (10)$$

где  $P_3$  – среднечасовая потребляемая мощность, кВт;  $P_{\text{пост}}$  – постоянная составляющая потребляемой мощности, не зависящая от полезной нагрузки двигателя, кВт;  $c_d$  – коэффициент энергоемкости ЛР, кВт·ч<sup>0,5</sup>/М<sup>1,5</sup>.

Выполнив аналогичные (7) преобразования, получим плотности распределения среднечасовой потребляемой мощности:

$$q(P_3) = \frac{2Zc_d^2}{\sigma_{T_3} \sqrt{2\pi} (P_3 - P_{\text{пост}})^3} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{Zc_d^2 - MT_3(P_3 - P_{\text{пост}})^2}{(P_3 - P_{\text{пост}})^2 \sigma_{T_3}} \right)^2 \right].$$

Математическое ожидание среднечасовой потребляемой мощности как функции случайного аргумента  $T_3$  найдем по выражению

$$\begin{aligned} MP_3 &= M[\varphi_2(T_3)] = \int_0^{\infty} \varphi_2(T_3) f(t_3) dt_3 = \\ &= \frac{1}{\sigma_{T_3} \sqrt{2\pi}} \int_0^{\infty} \left[ P_{\text{пост}} + c_d \sqrt{\frac{Z}{t_3}} \right] \exp \left\{ -\frac{(t_3 - MT_3)^2}{2DT_3} \right\} dt_3. \end{aligned}$$

После вычисления интеграла методом подстановки получим:

$$MP_3 = P_{\text{пост}} + c_d \sqrt{\frac{Z}{MT_3}}.$$

Для определения дисперсии  $DP_3$  выполним действия, аналогичные действиям в формуле (8):

$$DP_3 = DT_3 \frac{(MP_3 - P_{\text{пост}})^6}{(2Zc_d^2)^2}.$$

Потери электроэнергии на участке электрической сети

$$\Delta W_3 = 3I_3^2 RT_3,$$

где  $I_3$  – среднечасовое значение тока за время  $T_3$ ,

$$I_3 = \frac{P_3}{\sqrt{3}U_l \cos \varphi_3},$$

$U_l$  – линейное напряжение сети;  $\cos \varphi_3$  – среднее значение коэффициента мощности двигателя за время  $T_3$ ;  $R$  – активное сопротивление участка, Ом.

В этом случае потери электроэнергии в сети

$$\Delta W_3 = \frac{P_3^2 R}{(U_l \cos \varphi_3)^2} T_3,$$

откуда с учетом (10)

$$\begin{aligned} \Delta W_3 &= \frac{R}{(U_l \cos \varphi_3)^2} [P_{\text{пост}}^2 T_3 + 2P_{\text{пост}} c_d \sqrt{Z T_3} + Z c_d^2] = \\ &= \frac{R P_{\text{пост}}^2}{(U_l \cos \varphi_3)^2} T_3 + \frac{2P_{\text{пост}} R c_d \sqrt{Z}}{(U_l \cos \varphi_3)^2} \sqrt{T_3} + \frac{R c_d^2 Z}{(U_l \cos \varphi_3)^2}, \end{aligned}$$

или

$$\Delta W_3 = \varphi_3(T_3) = aT_3 + b\sqrt{T_3} + c, \quad (11)$$

где  $a, b, c$  – постоянные для данных условий коэффициенты, которые использованы для краткости представления формул:

$$a = \frac{R P_{\text{пост}}^2}{(U_l \cos \varphi_3)^2}; \quad b = \frac{2P_{\text{пост}} R c_d \sqrt{Z}}{(U_l \cos \varphi_3)^2}; \quad c = \frac{R c_d^2 Z}{(U_l \cos \varphi_3)^2}.$$

Из (11) следует, что потери электроэнергии в сети являются случайными величинами.

Выполнив преобразования, как в (7), получим выражение для определения плотности распределения потерь электроэнергии в сети:

$$\begin{aligned} g(\Delta W_3) &= \frac{\sqrt{b^2 - 4a(c - \Delta W_3)} - b}{a\sigma_{T_3} \sqrt{2\pi(b^2 - 4a(c - \Delta W_3))}} \times \\ &\times \exp \left\{ - \frac{[b^2 - b\sqrt{b^2 - 4a(c - \Delta W_3)} - 2a(c - \Delta W_3) - 2a^2 MT_3]^2}{2(2a^2 \sigma_{T_3})^2} \right\}. \end{aligned}$$

Математическое ожидание потерь электроэнергии

$$M(\Delta W_3) = aMT_3 + b\sqrt{MT_3} + c.$$

Для определения дисперсии  $D(\Delta W_3)$  выполним действия, как в (8):

$$D(\Delta W_3) = DT_3 \frac{a^2 [b^2 - 4a(c - M(\Delta W_3))]}{(\sqrt{b^2 - 4a(c - M(\Delta W_3))} - b)^2}.$$

Электроэнергия, потребляемая за эффективное время:

$$W_3 = P_3 T_3 = P_{\text{пост}} T_3 + c_d \sqrt{Z T_3},$$

или

$$W_3 = \varphi_4(T_3) = aT_3 + b\sqrt{T_3},$$

где  $a, b$  – постоянные (при определенных условиях) коэффициенты, характеризующие потребление электроэнергии двигателем механизма резания,  $a = P_{\text{пост}}$ ;  $b = c_d \sqrt{Z}$ .

Математическое ожидание потребления электроэнергии и его дисперсия:

$$MW_3 = aMT_3 + b\sqrt{MT_3};$$

$$DW_3 = DT_3 \frac{a^2(b^2 + 4aMW_3)}{(\sqrt{b^2 + 4aMW_3} - b)^2}.$$

Общее потребление электроэнергии за эффективное время, включая потери в сети:

$$W_{3,\text{общ}} = W_3 + \Delta W_3 = \left[ P_{\text{пост}} + \frac{RP_{\text{пост}}^2}{(U_L \cos \varphi_3)^2} \right] T_3 + \left[ c_d \sqrt{Z} + \frac{2P_{\text{пост}} R c_d \sqrt{Z}}{(U_L \cos \varphi_3)^2} \right] \sqrt{T_3} + \frac{R c_d^2 Z}{(U_L \cos \varphi_3)^2},$$

или

$$W_{3,\text{общ}} = \varphi_5(T_3) = aT_3 + b\sqrt{T_3} + c, \quad (12)$$

где  $a, b, c$  – постоянные (при определенных условиях) коэффициенты, характеризующие общее потребление электроэнергии за эффективное время:

$$a = P_{\text{пост}} + \frac{RP_{\text{пост}}^2}{(U_L \cos \varphi_3)^2}; \quad b = c_d \sqrt{Z} + \frac{2P_{\text{пост}} R c_d \sqrt{Z}}{(U_L \cos \varphi_3)^2}; \quad c = \frac{R c_d^2 Z}{(U_L \cos \varphi_3)^2}.$$

Уравнение (12) имеет такую же структуру, что уравнение (11) для потерь электроэнергии, поэтому плотность распределения случайной величины  $W_{3,\text{общ}}$  и ее дисперсия будут определяться аналогично:

$$g(W_{3,\text{общ}}) = \frac{\sqrt{b^2 - 4a(c - W_{3,\text{общ}})} - b}{a\sigma_{T_3} \sqrt{2\pi (b^2 - 4a(c - W_{3,\text{общ}}))}} \times \exp \left\{ - \frac{\left[ b^2 - b\sqrt{b^2 - 4a(c - W_{3,\text{общ}})} - 2a(c - W_{3,\text{общ}}) - 2a^2MT_3 \right]^2}{2(2a^2\sigma_{T_3})^2} \right\};$$

$$D(\Delta W_{\text{э.общ}}) = DT_3 \frac{a^2 [b^2 - 4a(c - M(W_{\text{э.общ}}))] }{\left( \sqrt{b^2 - 4a(c - M(W_{\text{э.общ}}))} - b \right)^2}.$$

Математическое ожидание общего электропотребления за операционное время

$$MW_{\text{э.общ}} = aMT_3 + b\sqrt{MT_3} + c.$$

Найдем плотность распределения удельного расхода электроэнергии (УРЭ) по распилу сырья, применяя использованную выше методику.

Тогда имеем:

функциональная зависимость УРЭ от случайной величины  $T_3$

$$d_3 = \varphi_6(T_3) = aT_3 + b\sqrt{T_3} + c;$$

плотность распределения УРЭ

$$g(d_3) = \frac{\sqrt{b^2 - 4a(c - d_3)} - b}{a\sigma_{T_3}\sqrt{2\pi(b^2 - 4a(c - d_3))}} \times \exp\left\{-\frac{[b^2 - b\sqrt{b^2 - 4a(c - d_3)} - 2a(c - d_3) - 2a^2MT_3]^2}{2(2a^2\sigma_{T_3})^2}\right\};$$

математическое ожидание УРЭ

$$Md_3 = aMT_3 + b\sqrt{MT_3} + c;$$

дисперсия УРЭ

$$D(d_3) = DT_3 \frac{a^2 [b^2 - 4a(c - Md_3)] }{\left( \sqrt{b^2 - 4a(c - Md_3)} - b \right)^2},$$

где  $a$ ,  $b$ ,  $c$  – постоянные (при определенных условиях) коэффициенты, характеризующие удельный расход электроэнергии за эффективное время:

$$a = \frac{P_{\text{пост}}}{Z} + \frac{RP_{\text{пост}}^2}{Z(U_{\text{л}} \cos \varphi_3)^2}; \quad b = \frac{c_{\text{д}}}{\sqrt{Z}} + \frac{2P_{\text{пост}}Rc_{\text{д}}}{\sqrt{Z}(U_{\text{л}} \cos \varphi_3)^2}; \quad c = \frac{Rc_{\text{д}}^2}{(U_{\text{л}} \cos \varphi_3)^2}.$$

При этом средняя ошибка аппроксимации составила 0,174 %, что говорит о достаточно высокой точности аппроксимации реального закона распределения УРЭ нормальным.

#### Заключение

В результате исследований получены выражения, позволяющие по геометрическим характеристикам пиловочного сырья в сортировочной партии и его количеству определить вероятностные характеристики технологических и энергетических показателей процесса распиловки древесины на лесопильных рамах.

Из найденных зависимостей следует, что с ростом количества бревен в сортировочной партии вариация удельного расхода энергии становится меньше, т. е. удельный расход энергии становится все более неслучайной величиной.

Предложенный подход к учету взаимосвязей технологических и энергетических показателей процесса распиловки позволит более качественно подходить к вопросу планирования и нормирования электропотребления на предприятиях лесопромышленного комплекса.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Агеев С.П.* Математическое моделирование процессов распиловки древесины // Изв. СПбЛТА. 2007. Вып. 179. С. 142–152.
2. *Агеев С.П.* Энергетическая характеристика механизма резания лесопильной рамы // Лесн. журн. 2009. № 1. С. 95–100. (Изв. высш. учеб. заведений).
3. *Агеев С.П.* Энергетическая характеристика электропривода механизма резания лесопильной рамы // Лесн. журн. 2009. № 2. С. 96–101. (Изв. высш. учеб. заведений).
4. *Агеев С.П.* Стохастические закономерности операционных циклов лесопильных рам // Лесн. журн. 2014. № 4. С. 80–89. (Изв. высш. учеб. заведений).
5. *Алексин М.В., Синев В.С., Пижурин П.А., Коперин И.Ф., Головков С.И., Павлюк В.А.* Экономия энергоресурсов в лесной и деревообрабатывающей промышленности. М.: Лесн. пром-ть, 1982. 216 с.
6. *Аркашов Н.С., Ковалевский А.П.* Теория вероятностей и случайные процессы: учеб. пособие. Новосибирск: Новосиб. гос. техн. ун-т, 2014. 180 с.
7. *Вентцель Е.С., Овчаров Л.А.* Теория вероятностей и ее инженерные приложения: учеб. пособие для вузов. М.: Высш. шк., 2000. 480 с.
8. *Воскобойников Д.М.* Экономическое стимулирование рационального использования электроэнергии в промышленности. М.: Энергоатомиздат, 1988. 80 с.
9. *Гусак А.Л.* Высшая математика. М.: Тетра Система, 2009. 320 с.
10. *Колемаев В.А., Калинина В.А.* Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Юнити-Дана, 2007. 250 с.
11. *Конюхова Е.А.* Электроснабжение объектов: учеб. пособие. М.: Мастерство, 2001. 320 с.
12. *Михайлов В.В.* Тарифы и режимы электропотребления. М.: Энергоатомиздат, 1986. 216 с.
13. *Михайлов В.В., Гудков Л.В., Терещенко А.В.* Рациональное использование топлива и энергии в промышленности. М.: Энергоатомиздат, 1985. 210 с.
14. *Рыкунин С.Н., Пятков В.Е.* Методы составления и расчета поставок: учеб. пособие. М.: МГУЛ, 2005. 69 с.
15. *Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю., Яшков В.А.* Электроснабжение промышленных предприятий и установок. М.: Высш. шк., 2001. 336 с.
16. Энергосберегающая технология электроснабжения народного хозяйства: практ. пособие / под ред. В.А. Веникова. Кн. 5. Экономия электроэнергии на промышленных предприятиях / Т.В. Анчарова, С.И. Гамазин, В.В. Шевченко. М.: Высш. шк., 1990. 143 с.
17. *Kreisel K., Jochem E.* Druckluft rationell erzeugen und nutzen // Fachartikel im Rahmen der Initiative "Energie effizient nutzen – Schwerpunkt Storm". Germany, Baden-Württemberg, 1996.
18. *Matthews M.B., Leber J.F.* Neurale Netzwerke: Ein Übersicht // Bulletin of the Swiss Electronic Society (SEV). 1989. Vol. 15. Pp. 923–932.
19. *Rumelhart D.E., Hinton G.E., Williams R.J.* Learning Representations by Back-Propagating Errors // Nature. 1986. Vol. 323. Pp. 533–536.

20. *Tonsing E.* Stromsparende Beleuchtungssysteme – mehr Licht für weniger Kosten // Fachartikel im Rahmen der Initiative “Energie effizient nutzen – Schwerpunkt Storm”. Germany, Baden-Württemberg, 1996.

Поступила 14.02.19

UDC 621.311

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.121

### Probability Analysis of Relations between Operation Mode Parameters of Saw Frames

*S.P. Ageev*<sup>1</sup>, *Doctor of Engineering, Assoc. Prof.; Publons: 1758124/sergey-ageev,*

*ORCID: 0000-0003-0362-6722*

*A.N. Minaev*<sup>2</sup>, *Doctor of Engineering, Assoc. Prof.*

*S.I. Roshchina*<sup>3</sup>, *Doctor of Engineering, Assoc. Prof.*

<sup>1</sup>Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, ul. 2-ya Krasnoarmeyskaya, 4, Saint Petersburg, 190005, Russian Federation; e-mail: doctor.mart11@mail.ru

<sup>2</sup>St. Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov, prosp. Institutskiy, 5, Saint Petersburg, 194021, Russian Federation; e-mail: stl@spbftu.ru

<sup>3</sup>Vladimir State University named after Alexander and Nikolai Stoletovs, ul. Gor’kogo, 87, Vladimir, 600000, Russian Federation; e-mail: rsi3@mail.ru

Nature of woodworking processes is dramatically influenced by various random factors. Mathematically, these processes should be considered as one of accidental types. The most energy-intensive process is sawmilling. Here, saw frame and frame equipment comprise a separate section, which largely forms the electricity consumption nature of product line and the whole plant. Therefore, the issues of improving the energy efficiency of woodworking industry can be solved only by joint consideration of the technological and energy parameters of wood sawing. The research purpose is a probability-theoretical analysis of relationship between the saw frames operating parameters, as well as finding the distribution laws and numerical ratings of these parameters as random variables when sawing the sort log load. The queuing system is used as a mathematical model of the saw frame cutting mechanism. The application of the probability theory has allowed us to find the distribution density and numerical characteristics of the effective time; hourly average sawing raw material output; hourly average power consumption, energy losses in the network; absolute and specific power consumption in conjunction with the geometric parameters of raw materials and operation parameters of saw frame mode. Electricity consumption parameters have probabilistic nature and are distributed by law, different from normal. The density of parameters distribution was approximated by the density of the Gauss’ law in order to simplify the analysis procedure. Herewith, the error of approximation was not more than 1.71 %. Formulas for calculating the values of technological and energy parameters of saw frames operation are proposed.

**For citation:** Ageev S.P., Minaev A.N., Roshchina S.I. Probability Analysis of Relations between Operation Mode Parameters of Saw Frames. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2019, no. 3, pp. 121–131. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.121

**Keywords:** saw frame, sort load of logs, energy input, power consumption, energy losses, probability distribution, sawn raw material parameters.

### REFERENCES

1. Ageev S.P. Mathematical Modeling of Sawing Wood Processes. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhnicheskoy Akademii* [News of the Saint Petersburg State Forest Technical Academy], 2007, iss. 179, pp. 142–152.

2. Ageev S.P. Energetic Characteristic of Cutting Mechanism of Frame Saw. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2009, no 1, pp. 95–100.
3. Ageev S.P. Energy Characteristic of Electric Drive for Cutting Mechanism of Saw Frame. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2009, no 2, pp. 96–101.
4. Ageev S.P. Stochastic Pattern of the Sash Operating Cycles. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2014, no. 4, pp. 80–89.
5. Aleksin M.V., Sinev V.S., Pizhurin P.A., Koperin I.F., Golovkov S.I., Pavlosyuk V.A. *Energy Savings in Forest and Woodworking Industry*. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1982. 216 p.
6. Arkashov N.S., Kovalevskiy A.P. *Theory of Probability and Stochastic Processes*: Educational Textbook. Novosibirsk, NSTU Publ., 2014. 180 p.
7. Venttsel' E.S., Ovcharov L.A. *Theory of Probability and Its Engineering Applications*: Educational Textbook for Universities. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2000. 280 p.
8. Voskoboinikov D.M. *Economic Incentives for Sustainable Use of Power in Industry*. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1988. 80 p.
9. Gusak A.L. *Higher Mathematics*. Moscow, Tetra Sistema Publ., 2009. 320 p.
10. Kolemaev V.A., Kalinina V.A. *Theory of Probability and Mathematical Statistics*. Moscow, Unity-Dana Publ., 2007. 250 p.
11. Konyukhova E.A. *Electrical Power Supply of Facilities*: Educational Textbook. Moscow, Masterstvo Publ., 2001. 320 p.
12. Mikhaylov V.V. *Power Consumption Charges and Modes*. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1986. 216 p.
13. Mikhaylov V.V., Gudkov L.V., Tereshchenko A.V. *Sustainable Use of Fuel and Energy in Industry*. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1985. 210 p.
14. Rykunin S.N., Pyatkov V.E. *Methods for Compilation and Calculation of Sawing Schedules*: Educational Textbook. Moscow, MGUL Publ., 2002. 69 p.
15. Sibikin Yu.D., Sibikin M.Yu., Yashkov V.A. *Power Supply of Industrial Enterprises and Installations*. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2001. 336 p.
16. Ancharova T.V., Gamazin S.I., Shevchenko V.V. Energy Saving at Industrial Enterprises. Book 5. *Power Saving Technology of Electricity Supply of National Economy: In 5 Books: Practical Guide*. Ed. by V.A. Venikov. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1990. 143 p.
17. Kreisel K., Jochem E. Druckluft rationell erzeugen und nutzen. *Fachartikel im Rahmen der Initiative "Energie effizient nutzen – Schwerpunkt Storm"*. Baden-Württemberg, Germany, 1996.
18. Matthews M.B., Leber J.F. Neurale Netzwerke: Ein Übersicht. *Bulletin of the Swiss Electronic Society (SEV)*, 1989, vol. 15, pp. 923–932.
19. Rumelhart D.E., Hinton G.E., Williams R.J. Learning Representations by Back-Propagating Errors. *Nature*, 1986, vol. 323, pp. 533–536.
20. Tonsing E. Stromsparende Beleuchtungssysteme – mehr Licht für weniger Kosten. *Fachartikel im Rahmen der Initiative "Energie effizient nutzen – Schwerpunkt Storm"*. Baden-Württemberg, Germany, 1996.

Received on February 14, 2019

---



## ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 630\*867.2

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.132

**ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ФЕНОЛЬНОЙ ФРАКЦИИ СМОЛЫ  
АБЛЯЦИОННОГО ПИРОЛИЗА ДРЕВЕСИНЫ\****М.Ю. Микулинцева<sup>1</sup>, магистрант; ResearcherID: G-8819-2019, ORCID: 0000-0001-7295-6771**Д.А. Пономарев<sup>1</sup>, д-р хим. наук, проф.; ResearcherID: G-9744-2019, ORCID: 0000-0002-1327-3687**А.Н. Грачев<sup>2</sup>, д-р техн. наук, проф.**С.А. Покрышкин<sup>3</sup>, науч. сотр.**Д.С. Косяков<sup>3</sup>, канд. хим. наук, доц.; ResearcherID: N-2166-2017, ORCID: 0000-0001-5223-6857*

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия, 194021; e-mail: silvida@mail.ru, dponomarev1@mail.ru

<sup>2</sup>Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. К. Маркса, д. 68, г. Казань, Россия, 420015; e-mail: energolesprom@gmail.com

<sup>3</sup>Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: serge.physchem@yandex.ru, kosyakov@mail.ru

Проанализированы результаты определения химического состава фенольной фракции смолы абляционного пиролиза древесины березы. Фенольную фракцию выделяли экстракцией 10 %-м водным раствором гидроксида натрия. Общий выход фенольной фракции смолы абляционного пиролиза составил 5,3 % в расчете на весь суммарный конденсат. Выделенный щелочной экстракт исследовали методами <sup>1</sup>H и <sup>13</sup>C ядерно-магнитного резонанса, инфракрасной спектроскопии и газожидкостной масс-спектрометрии. На основе данных ЯМР-спектроскопии определяли вклад отдельных компонентов фракции. Для этого <sup>1</sup>H ЯМР-спектр был разделен на 7 областей в зависимости от типа протонов: ароматические ( $\delta = 6,5...9,0$ ); фенольные ОН ( $\delta = 5,0...6,5$ ); Ar-CH<sub>2</sub>-Ar ( $\delta = 3,3...4,5$ );  $\alpha$ -CH<sub>3</sub>, CH<sub>2</sub> и CH ( $\delta = 2,0...3,3$ );  $\beta$ -CH<sub>2</sub> и CH ( $\delta = 1,6...2,0$ );  $\beta$ -CH<sub>3</sub>, CH<sub>2</sub> и  $\gamma$ -CH ( $\delta = 1,0...1,6$ );  $\gamma$ -CH<sub>3</sub> ( $\delta = 0,5...1,0$ ). Для каждой области определяли интегральную интенсивность протонов и вычисляли ее вклад в сумму интенсивностей протонов всех выделенных областей спектра. Установлено, что фенольная фракция смолы абляционного пиролиза по сравнению с фенольной фракцией смолы традиционного пиролиза содержит больше алифатических групп, тогда как экстракт смолы традиционного пиролиза имеет в своем составе больше ароматических групп. Данные газожидкостной хромато-масс-спектрометрии показали, что наибольший вклад в образование смолы абляционного пиролиза вносят следующие фенолы: 1,2-ди-гидроксибензол, 4-метил-2,6-диметоксифенол, 2,6-диметоксифенол. Гваякол образуется в небольших количествах, что объясняется взятой для пиролиза листовенной породой древесины. С помощью ИК-спектроскопии установлено, что смолы пиролиза содержат фенольные, спиртовые и карбонильные группы и ароматические соединения. Сделан вывод, о содержании значительного количества фенолов во фракции, выделенной щелочной экстракцией, что позволит осуществить ее модификацию в целях получения востребованных продуктов.

**Для цитирования:** Микулинцева М.Ю., Пономарев Д.А., Грачев А.Н., Покрышкин С.А., Косяков Д.С. Химический состав фенольной фракции смолы абляционного пиролиза древесины // Лесн. журн. 2019. № 3. С. 132–142. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.132

\*Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП НО «Арктика» Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова.

*Ключевые слова:* абляционный пиролиз, древесина березы, фенольная фракция, ЯМР-спектроскопия, ИК-спектроскопия, ГЖХ-спектрометрия.

### *Введение*

В течение последних десятилетий получаемое из растительного сырья твердое и жидкое биотопливо постоянно рассматривалось как источник возобновляемой энергии, использование которой экологически безопасно, так как не влияет на содержание диоксида углерода в атмосфере Земли [5]. При разработке технологий получения жидкого биотоплива исследователи обычно ориентировались на утилизацию отходов лесной и деревообрабатывающей промышленности, а также сельского хозяйства. Значительное место среди таких технологий отводилось термической переработке отходов древесины, в частности ее пиролизу. Однако падение цен на углеводородные энергоносители и отсутствие в настоящее время потребности в биотопливе заставляют искать новые направления использования жидких продуктов пиролиза древесины (пирогенных смол) [4].

Кроме энергетического направления, пирогенные смолы применяют в качестве исходного сырья для получения различных товарных продуктов (например, фенолов, обладающих бактерицидной активностью) [3]. Химическое использование пирогенных смол станет определяющим для пиролитической утилизации разнообразных отходов древесины и получения из них ценных продуктов.

Нами предпринята попытка выделения и осуществления химического анализа фенольной фракции жидких продуктов абляционного пиролиза древесины [7].

Абляционный пиролиз – новое направление термической переработки древесины, поэтому и публикаций по химическому составу получаемых в результате пиролиза смол немного [2]. Так как в процессе абляционного пиролиза биомасса подается на нагретый (до температур более 500 °С) вращающийся диск, то происходит быстрый унос продуктов из зоны реакции. Этот способ имеет свои преимущества. Например, размер частиц биомассы в нем не регламентирован, т. е. требуется меньшая, чем в других способах быстрого пиролиза, степень измельчения, сам процесс ориентирован на образование жидких продуктов. Компания «РУТЕС», разработавшая установку абляционного пиролиза, получила выход жидких продуктов до 68 %. Можно ожидать, что выделенная из смолы абляционного пиролиза фенольная фракция послужит сырьем для различных продуктов, обладающих, в частности, поверхностно-активными свойствами [9].

### *Объекты и методы исследования*

Для исследования брали смолу абляционного пиролиза, полученную на опытной установке, разработанной в Казанском национальном исследовательском технологическом университете [1]. В качестве сырья использовали ствольную березовую древесину влажностью 7 %. Для сравнения брали отстойную смолу Амзинского лесохимического завода, которую в дальнейшем называли «смола традиционного пиролиза».

Выделение фенольной фракции производили методом щелочной экстракции. Навеску смолы (массой около 10 г) растворяли в 100 мл 10 %-го водного раствора NaOH. Экстракцией диэтиловым эфиром (4 × 40 мл) отделяли нейтральные вещества, водный слой подкисляли при охлаждении 10 %-м раствором H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и выдерживали 20 мин. Выпавший осадок отфильтровывали, а фильтрат обрабатывали 10 %-м водным раствором NaHCO<sub>3</sub> до прекращения выделения CO<sub>2</sub>. Нейтрализованный раствор экстрагировали диэтиловым эфиром (4 × 40 мл). Из эфирного экстракта после сушки Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и отгонки эфира выделяли фенольную фракцию [6]. Влажность смолы, определенная методом Дина–Старка, составляла 15,3 %.

Фенольную фракцию исследовали методами ИК-спектроскопии с Фурье-преобразованием, хромато-масс-спектрометрии, <sup>1</sup>H и <sup>13</sup>C ЯМР-спектроскопии. ИК-спектры регистрировали на ИК-Фурье-спектрометре ФСМ-1201. Спектры ЯМР записывали на приборе «Bruker AVANCE III 400» (рабочие частоты 500 и 125 МГц соответственно для <sup>1</sup>H и <sup>13</sup>C). В качестве внутренних стандартов использовали остаточные сигналы CDCl<sub>3</sub>: в спектрах <sup>1</sup>H (δ = 7,26 м.д.п.) и в спектрах <sup>13</sup>C (δ = 77,16 м.д.п.).

Для изучения индивидуального состава фенольной фракции смолы абляционного пиролиза применяли метод газожидкостной хроматографии–масс-спектрометрии (ГЖХ–МС). Для этого навеску пробы (3 мг) растворяли в дихлорметане (1 мл). Летучие компоненты проб анализировали на газовом хромато-масс-спектрометре GC-MS QP2010 Ultra («Shimadzu») в следующих условиях: колонка капиллярная Rtx-5MS (диаметр 0,25 мм), толщина неподвижной фазы 0,25 мкм, длина колонки 30 м. Ввод пробы производили с делением потока 1:10; объем вводимой пробы 1 мкл; температура устройства ввода 230 °С; газ-носитель – гелий; изменение температуры: начальная температура термостата 30 °С, затем изотерма 3 мин, подъем со скоростью 10 °С/мин до 300 °С, снова изотерма 5 мин; температура ионного источника 230 °С; энергия ионизации 70 эВ; диапазон сканирования масс 30...500 Да.

#### *Результаты исследования и их обсуждение*

Содержание фенолов в смоле абляционного пиролиза – 5,3 % (для сравнения смола традиционного пиролиза содержит 10,8 % фенолов). Однако из этих данных нельзя сделать вывод о том, что при абляционном пиролизе фенолов образуется меньше, чем при традиционном, так как полученные значения для абляционного пиролиза относятся к общей массе смолы, а для традиционного пиролиза – к отстойной смоле. Таким образом, подобное сравнение не учитывает содержания воды и углеводов в общем составе продуктов пиролиза.

При рассмотрении ИК-спектров исходной смолы (рис. 1, а) и фенольного экстракта (рис. 1, б) выявлен интенсивный пик в области 3300 см<sup>-1</sup>, что свидетельствует о наличии фенольных и спиртовых гидроксильных групп. Характерный пик в области 1710 см<sup>-1</sup> относится к карбонильным группам, в области 1600...1510 см<sup>-1</sup> – к ароматическим веществам. В целом исходная смола и фенольный экстракт, по-видимому, имеют одинаковый набор функциональных групп, что демонстрирует сходство их ИК-спектров.

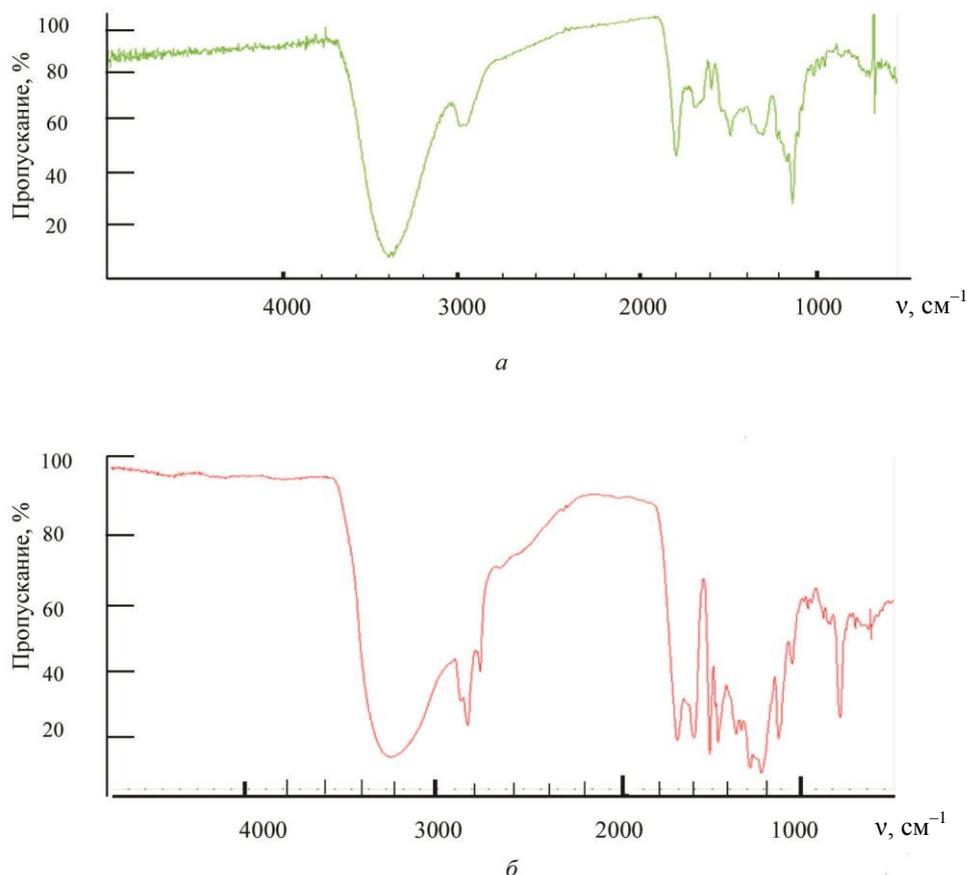


Рис. 1. ИК-спектры исходной смолы абляционного пиролиза (*a*) и ее фенольной фракции (*б*)

Fig. 1. IR spectra of the original ablative pyrolysis resin (*a*) and its phenolic fraction (*б*)

Особенности строения углеводородного скелета веществ, входящих в состав полученных пирогенных смол, можно выявить методом  $^1\text{H}$  ЯМР-спектроскопии. Недавно для пиролизных смол была предложена методика количественной оценки вклада отдельных типов протонов в суммарную площадь всех пиков [11]. Для этого авторы разделили диапазон  $^1\text{H}$  ЯМР-спектра на ряд областей, каждая из которых имеет химический сдвиг, характерный для определенного типа протонов (ароматических, алифатических, фенольных и др.). Затем вычислили относительный вклад площади пика каждой области в суммарную площадь пиков  $^1\text{H}$  ЯМР-спектра.

Аналогичная процедура была выполнена для  $^1\text{H}$  ЯМР-спектра фенольной фракции смолы абляционного пиролиза (рис. 2). Результаты определения относительного содержания различных типов протонов в фенольной фракции смолы представлены в табл. 1.

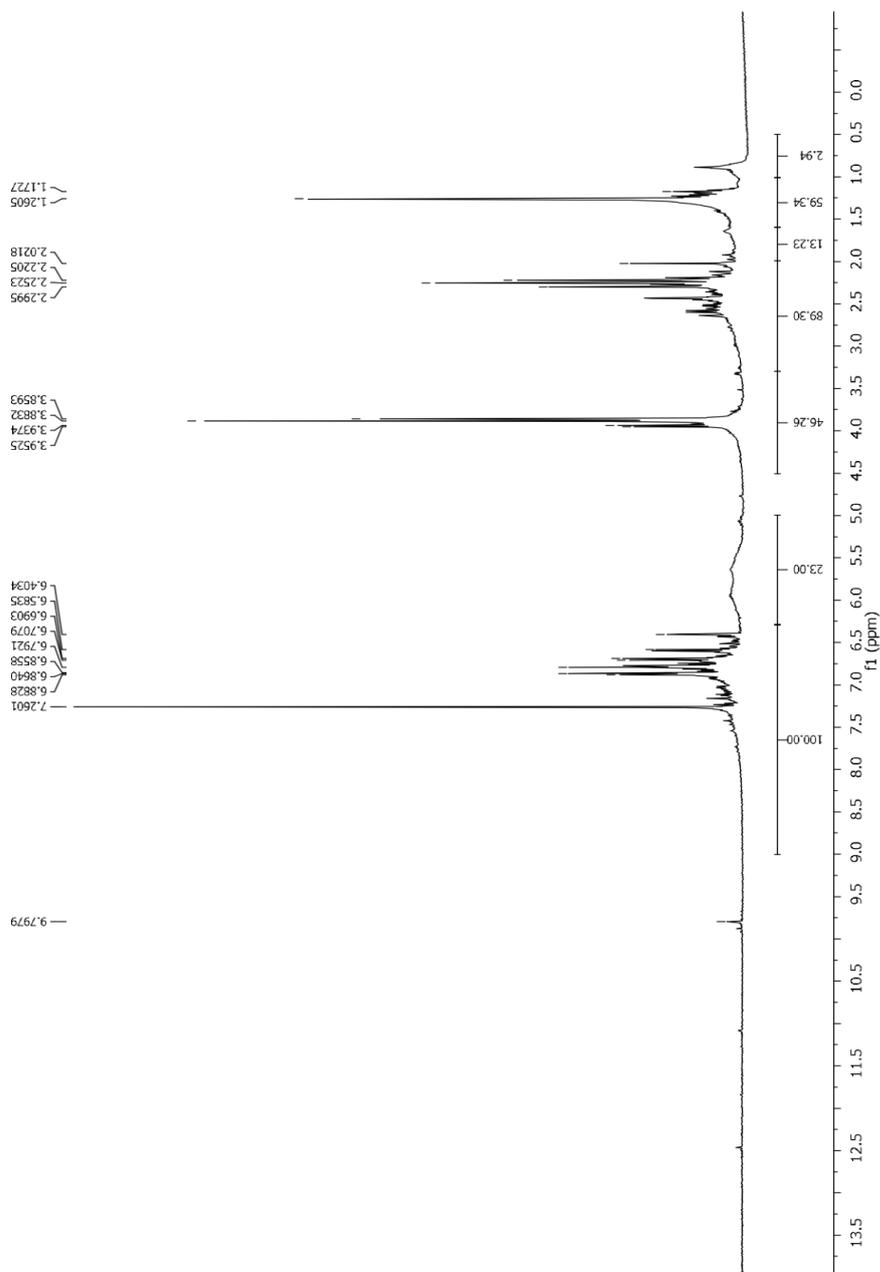


Рис. 2.  $^1\text{H}$  ЯМР-спектр фенольной фракции смолы абляционного пиролиза ( $\text{CDCl}_3$ , 500 МГц)  
 Fig. 2.  $^1\text{H}$  NMR spectrum of phenolic fraction of ablative pyrolysis resin ( $\text{CDCl}_3$ , 500 MHz)

Таблица 1

Относительное содержание (%) различных типов протонов  
 в фенольной фракции смол абляционного и традиционного пиролиза

Тип протонов	Химический сдвиг $\delta$ , м.д.п.	Абляционный пиролиз	Традиционный пиролиз
Ароматические	6,5...9,0	29,6	35,8
Фенольные	5,0...6,5	6,8	5,8
Ar-CH <sub>2</sub> -Ar	3,3...4,5	13,9	17,2
$\alpha$ -CH <sub>3</sub> , CH <sub>2</sub> и CH	2,0...3,3	26,7	18,9
$\beta$ -CH <sub>3</sub> , CH <sub>2</sub> , CH и $\gamma$ -CH	1,0...2,0	22,0	18,5
$\gamma$ -CH <sub>3</sub>	0,5...1,0	0,9	3,6

Следует отметить, что содержание водорода у  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -атомов углерода пропановой цепочки для выделенных фенолов смолы абляционного пиролиза примерно в 1,5 раза выше, чем в смоле традиционного пиролиза. Исключением является  $\text{CH}_3$ -группа в  $\gamma$ -положении, содержание которой невелико и количественная оценка требует дополнительного подтверждения.

Рассмотрение  $^{13}\text{C}$  ЯМР-спектров фенольных экстрактов (рис. 3) показывает следующее: в смоле абляционного пиролиза в области, отвечающей за карбонильные группы (215,0...166,5 м.д.п.), отсутствуют сигналы, характерные для углерода карбонильной группы, в то время как в смоле традиционного пиролиза в этой области наблюдаются слабые сигналы. Спектр смолы традиционного пиролиза имеет интенсивные сигналы, характерные для ароматической части (166,5...95,8 м.д.п.), а в смоле абляционного пиролиза в этой области – слабые сигналы. Высказанное выше предположение о значительном содержании алифатических групп в смоле абляционного пиролиза подтверждается интенсивными сигналами в области 95,8...0,0 м.д.п. в  $^{13}\text{C}$  ЯМР-спектрах [8].

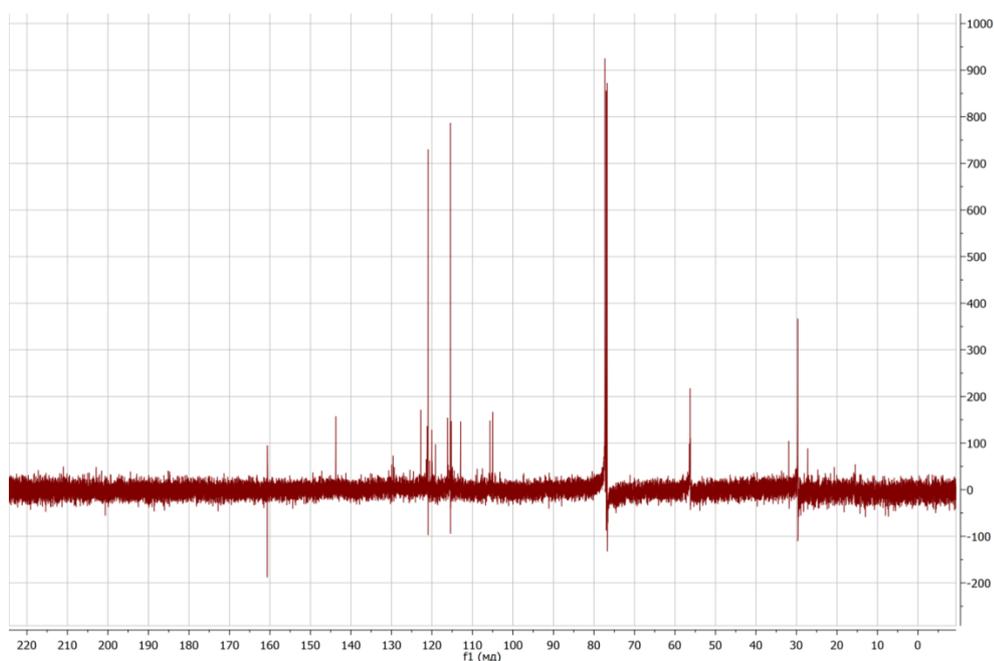


Рис. 3.  $^{13}\text{C}$  ЯМР – спектр фенольной фракции смолы абляционного пиролиза ( $\text{CDCl}_3$ , 125 МГц)

Fig. 3.  $^{13}\text{C}$  NMR spectrum of phenolic fraction of ablative pyrolysis resin ( $\text{CDCl}_3$ , 125 MHz)

Состав пирогенных смол обычно определяют методом ГЖХ-МС, данные которого показывают, что они состоят из нескольких десятков веществ, каждое из которых вносит сравнительно небольшой вклад в состав.

Из хроматограммы, приведенной на рис. 4, видно, что фенольная фракция представляет собой сложную смесь индивидуальных соединений. Их строение было установлено сравнением с библиотечными спектрами, имею-

щимися в базе данных масс-спектрометра. Полученные результаты представлены в табл. 2. (номер пика в табл. 2 соответствует номеру пика на хроматограмме рис. 4).

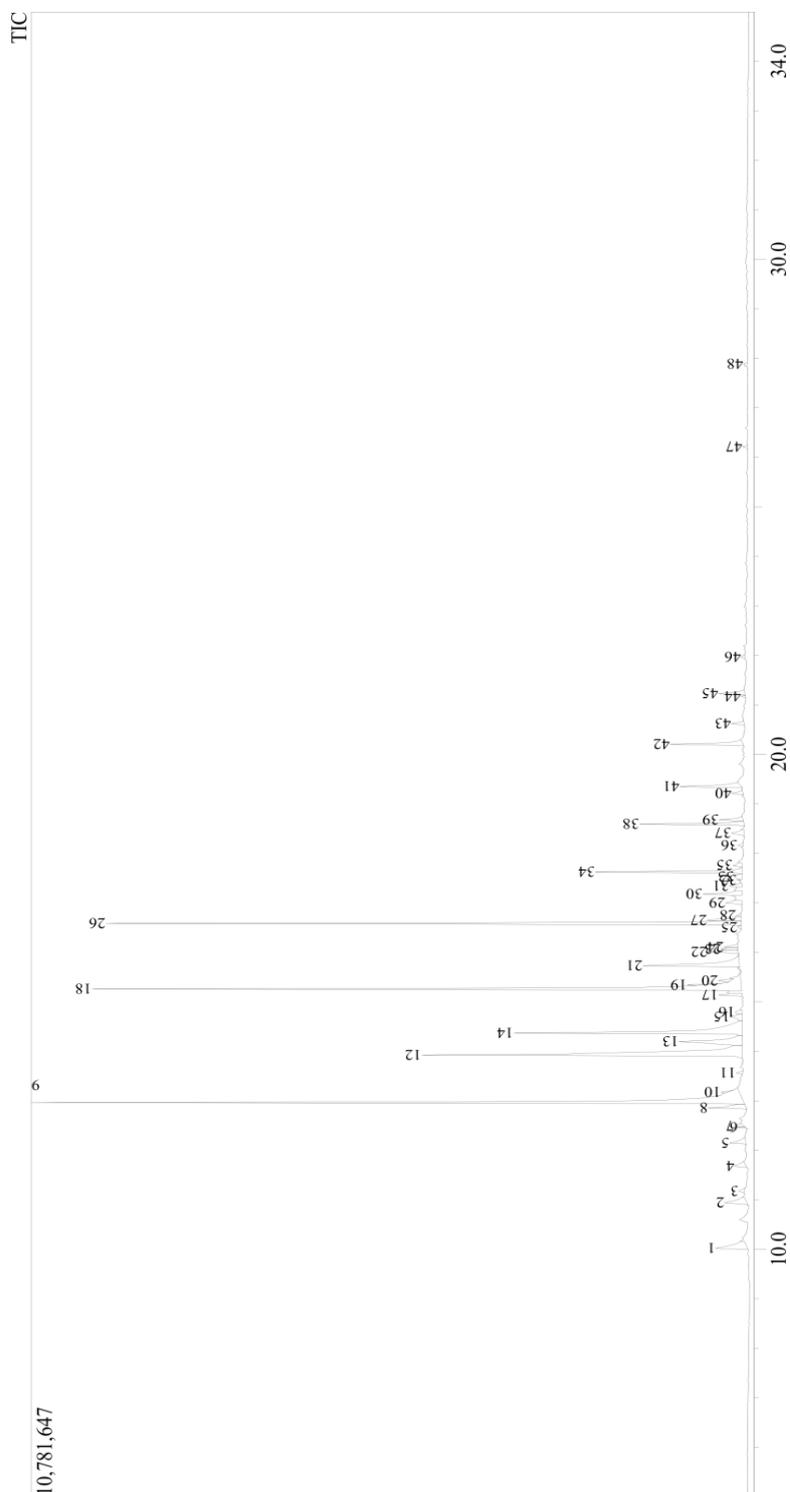


Рис. 4. Хроматограмма фенольной фракции смолы абляционного пиролиза древесины  
Fig. 4. Chromatogram of phenolic fraction of wood ablative pyrolysis resin

Таблица 2

## Химический состав фенольной фракции смолы абляционного пиролиза

Номер пика	Время выхода, мин	Площадь пика, %	Высота пика, %	Название вещества
3	11,174	0,2	0,2	2-Метоксифенол
8	12,859	1,1	1,0	Креозол
9	12,965	18,7	19,7	Пирокатехин
12	13,925	12,1	8,9	2,3-Дигидрокситолуол
13	14,196	3,2	1,7	2-Ацетилрезорцин
14	14,371	7,8	6,2	3,4-Дигидрокситолуол
18	15,261	16,4	17,9	2,6-Диметоксифенол
21	15,730	3,7	2,7	4-Этилпирокатехин
26	16,584	12,9	17,5	1,2,3-Триметоксибензол
30	17,177	1,2	1,0	Ацетованилон
34	17,625	3,0	4,0	4-Этил-сирингол
38	18,592	2,2	2,9	2,6-Диметокси-4-(2-пропенил)-фенол
41	19,351	1,5	1,7	4-Гидрокси-3,5-диметоксибензальдегид
42	20,203	1,7	2,0	1-(4-Гидрокси-3,5-диметоксифенил)-этанол

В табл. 2 представлены только пики, имеющие на хроматограмме интенсивность более 1 %. Обращает внимание то, что почти все вещества, кроме 26, являются фенолами. Вещество 26, по нашему мнению, с большой вероятностью может быть 4-метил-2,6-диметоксифенолом или одним из его изомеров. Отсутствие масс-спектра 4-метил-2,6-диметоксифенола в базе данных NIST приводит к тому, что программное обеспечение приписывает масс-спектр соединения 26 к 1,2,3-триметоксибензолу [12]. Для соединения 26 нами зарегистрированы направления фрагментации, которые близки направлениям фрагментации креозола (4-метил-2-метоксифенола).

Необходимо отметить низкую интенсивность пика гваякола (соединение 3), который обычно является одним из основных продуктов пиролиза древесины хвойных пород. В нашем случае, когда пиролизу подвергается древесина березы, основным компонентом смолы пиролиза является вещество 18 (2,6-диметоксифенол) [10].

### Заключение

Изучен химический состав фенольной фракции смолы абляционного пиролиза древесины березы. Методом  $^1\text{H}$  ЯМР-спектроскопии показано, что абляционная смола, в отличие от смолы традиционного пиролиза, имеет повышенное содержание алифатических групп, связанных с ароматическим кольцом. Методом хромато-масс-спектрометрии подтверждено, что выделенная фракция состоит только из фенолов. Обращает внимание, что фенольная фракция состоит в основном из 4-5 фенолов и может быть использована в качестве фенолсодержащего исходного сырья.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грачев А.Н. Разработка методов расчета технологии и оборудования пирога-нетической переработки древесины в жидкие продукты: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Казань, 2012. 36 с.
2. Грачев А.Н., Сафин Р.Г., Хисматов Р.Г., Макаров А.А. Экспериментальные исследования скорости убыли массы древесины в процессе быстрого абляционного пиролиза // Лесн. журн. 2009. № 4. С. 116–122. (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Зорин Б.Я., Демченко Е.А., Тришин В.М., Киприанов А.И. Исследование химического состава фенольной фракции копильного препарата методом хромато-масс-спектрометрии // Лесн. журн. 2003. № 2-3. С. 107–111. (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Киповский А.Я., Пилякин В.Н., Белоусов И.И., Прокопьев С.А. Роль температурно-временных факторов при ультрапиролизе древесного сырья // Лесн. журн. 2004. № 4. С. 85–92. (Изв. высш. учеб. заведений).
5. Марьяндышев П.А., Чернов А.А., Любов В.К. Анализ термогравиметрических и кинетических данных различных видов древесного биотоплива Северо-Западного региона Российской Федерации // Лесн. журн. 2016. № 1. С. 167–182. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.1.167
6. Сумароков В.П., Володуцкая З.М., Высотская В.А., Клиньских Е.В. Методы анализа продуктов пирога-нетической переработки древесины. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1960. 252 с.
7. Уваров И.П., Гордон Л.В. Древесные смолы (синтетические продукты на основе лесохимических фенолов). М.: Гослесбумиздат, 1962. 84 с.
8. Ben H., Ragauskas A. In Situ NMR Characterization of Pyrolysis Oil during Accelerated Aging // ChemSusChem. 2012. Vol. 5, iss. 9. Pp. 1687–1693. DOI: 10.1002/cssc.201200429
9. Biomass to Biofuels: Strategies for Global Industries / ed. by A.A. Vertes, N. Qureshi, H. Yukawa, H.P. Blaschek. Chichester: Wiley, 2010. 584 p.
10. Garcia-Perez M., Adams T.T., Goodrum J.W., Geller D.P., Das K.C. Production and Fuel Properties of Pine Chip Bio-oil/Biodiesel Blends // Energy & Fuels. 2007. Vol. 21(4). Pp. 2363–2372. DOI: 10.1021/ef060533e
11. Mohan D., Pittman C.U., Steele P.H. Pyrolysis of Wood/Biomass for Bio-oil: A Critical Review // Energy & Fuels. 2006, Vol. 20(3). Pp. 848–889. DOI: 10.1021/ef0502397
12. NIST Standard Reference Database Number 69 // NIST Chem Webbook. U.S. Secretary of Commerce, 2018. Режим доступа: <https://webbook.nist.gov/chemistry/> (дата обращения: 06.12.19). DOI: 10.18434/T4D303

Поступила 06.12.18

UDC 630\*867.2

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.132

**Chemical Composition of Phenolic Fraction of Wood Ablative Pyrolysis Resin\****M.Yu. Mikulintseva<sup>1</sup>, Master; ResearcherID: [G-8819-2019](https://orcid.org/0000-0001-7295-6771), ORCID: [0000-0001-7295-6771](https://orcid.org/0000-0001-7295-6771)**D.A. Ponomarev<sup>1</sup>, Doctor of Chemistry, Prof.; ResearcherID: [G-9744-2019](https://orcid.org/0000-0002-1327-3687),**ORCID: [0000-0002-1327-3687](https://orcid.org/0000-0002-1327-3687)**A.N. Grachev<sup>2</sup>, Doctor of Engineering, Prof.**S.A. Pokryshkin<sup>3</sup>, Research Scientist**D.S. Kosyakov<sup>3</sup>, Candidate of Chemistry, Assoc. Prof.; ResearcherID: [N-2166-2017](https://orcid.org/0000-0001-5223-6857),**ORCID: [0000-0001-5223-6857](https://orcid.org/0000-0001-5223-6857)*

---

\*The research was carried out using the equipment of the Shared Use Equipment Center “Arktika” of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov.

<sup>1</sup>St. Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov, Institutskiy per., 5, Saint Petersburg, 194021, Russian Federation; e-mail: silvida@mail.ru, dponomarev1@mail.ru

<sup>2</sup>Kazan National Research Technological University, ul. K. Marksa, 68, Kazan, 420015, Russian Federation; e-mail: energolesprom@gmail.com

<sup>3</sup>Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 14, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation, e-mail: kosyakov@mail.ru

The results of chemical analysis of resin phenolic fraction of ablative pyrolysis birch wood are presented. The phenolic fraction was isolated by extraction with 10 % aqueous sodium hydroxide solution. The total yield of the phenolic fraction of ablative pyrolysis resin was 5.3 % per total condensate. The isolated alkaline extract was studied by <sup>1</sup>H and <sup>13</sup>C nuclear magnetic resonance (NMR) spectroscopy, infrared (IR) spectroscopy, and gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The data of <sup>1</sup>H NMR spectroscopy were used for quantitative analysis of inputs of definite groups of protons to the total spectrum. Therefore, <sup>1</sup>H NMR spectrum was divided into seven regions, which corresponds to the following types of protons: aromatic ( $\delta = 6.5-9.0$ ); phenolic OH ( $\delta = 5.0-6.5$ ); Ar-CH<sub>2</sub>-Ar ( $\delta = 3.3-4.5$ );  $\alpha$ -CH<sub>3</sub>, CH<sub>2</sub>, and CH ( $\delta = 2.0-3.3$ );  $\beta$ -CH<sub>2</sub> and CH ( $\delta = 1.6-2.0$ );  $\beta$ -CH<sub>3</sub>, CH<sub>2</sub>, and  $\gamma$ -CH ( $\delta = 1.0-1.6$ );  $\gamma$ -CH<sub>3</sub> ( $\delta = 0.5-1.0$ ). Proton integral intensity was determined and its input on a proton intensities sum of all distinguished regions of <sup>1</sup>H NMR-spectra were calculated for each region. It has been found that phenolic fraction of ablation pyrolysis resin contains more aliphatic groups in comparison with phenolic fraction of conventional pyrolysis resin, while resin extract contains more aromatic groups. The GC-MS data had shown that the following phenols make the greatest contribution to the formation of ablation pyrolysis resin: 1,2-dihydroxybenzene, 4-methyl-2,6-dimethoxyphenol and 2,6-dimethoxyphenol. Insignificant formation of guaiacol is explained by deciduous wood taken for pyrolysis. IR spectroscopy had shown that pyrolysis resins contain phenolic, alcohol, and carbonyl functional groups and aromatic compounds. The fraction isolated by alkaline extraction contains a significant amount of phenols, which allows its modification for the purposes of obtaining marketable products.

**For citation:** Mikulintseva M.Yu., Ponomarev D.A., Grachev A.N., Pokryshkin S.A., Kosyakov D.S. Chemical Composition of Phenolic Fraction of Wood Ablative Pyrolysis Resin. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2019, no. 3, pp. 132–142. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.132

**Keywords:** ablative pyrolysis, birch wood, phenolic fraction, NMR spectroscopy, IR spectroscopy, gas chromatography-mass spectrometry.

#### REFERENCES

1. Grachev A.N. *Development of Methods for Calculating the Technology and Equipment of Pyrogenic Processing of Wood into Liquid Products*: Dr. Eng. Sci. Diss. Abs. Kazan, 2012. 36 p.
2. Grachev A.N., Safin R.G., Khismatov R.G., Makarov A.A. Experimental Research of Rate of Wood Mass Decrease in Quick Ablative Pyrolysis. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2009, no. 4, pp. 116–122.
3. Zorin B.Ya., Demchenko E.A., Trishin V.M., Kiprianov A.I. Chemical Composition Investigation of Smoker Phenol Fraction by Chromato-mass-spectrometry Method. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2003, no. 2–3, pp. 107–111.
4. Kipovsky A.J., Palkin V.N., Belousov I.I., Prokopjev S.A. Role of Temperature and Time Factors at Ultrapyrolysis of Wood-raw Material. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2004, no. 4, pp. 85–92.

5. Mar'yandyshev P.A., Chernov A.A., Lyubov V.K. Thermogravimetric and Kinetic Data Analysis of Wood Biofuels in the North-Western Region of the Russian Federation. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2016, no. 1, pp. 167–182.
6. Sumarokov V.P., Volodutskaya Z.M., Vysotskaya V.A., Klinskikh E.V. *Methods of Analysis of Wood Pyrogenetic Products*. Moscow, Goslesbumizdat Publ., 1960. 251 p.
7. Uvarov I.P., Gordon L.V. *Wood Resins (Synthetic Products Based on Forest Chemical Phenols)*. Moscow, Goslesbumizdat Publ., 1962. 84 p.
8. Ben H., Ragauskas A. In Situ NMR Characterization of Pyrolysis Oil during Accelerated Aging. *ChemSusChem*, 2012, vol. 5, iss. 9, pp. 1687–1693. DOI: 10.1002/cssc.201200429
9. *Biomass to Biofuels: Strategies for Global Industries*. Ed. by A.A. Vertes, N. Qureshi, H. Yukawa, H.P. Blaschek. Chichester, Wiley, 2010. 584 p.
10. Garcia-Perez M., Adams T.T., Goodrum J.W., Geller D.P., Das K.C. Production and Fuel Properties of Pine Chip Bio-oil/Biodiesel Blends. *Energy & Fuels*, 2007, vol. 21(4), pp. 2363–2372. DOI: 10.1021/ef060533e
11. Mohan D., Pittman C.U., Steele P.H. Pyrolysis of Wood/Biomass for Bio-oil: A Critical Review. *Energy & Fuels*, 2006, vol. 20(3), pp. 848–889. DOI: 10.1021/ef0502397
12. NIST Standard Reference Database Number 69. *NIST Chem Webbook*. U.S. Secretary of Commerce, 2018. Available at: <https://webbook.nist.gov/chemistry/> (accessed 06.12.19). DOI: 10.18434/T4D303

Received on December 06, 2018

---

УДК 676.16.022.6.034

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.143

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОЦЕССА ПЕРОКСИДНО-АЦЕТАТНОЙ ДЕЛИГНИФИКАЦИИ НЕДРЕВЕСНОГО ЦЕЛЛЮЛОЗОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ В ПРИСУТСТВИИ СЕРНОКИСЛОТНОГО КАТАЛИЗАТОРА

*Д.Ю. Арсеньева, аспирант; ORCID: 0000-0002-7816-6727*

*Я.В. Казаков, д-р техн. наук, доц.; ResearcherID: J-4634-2012, ORCID: 0000-0001-8505-5841*

*Е.О. Окулова, аспирант*

*А.Ю. Лагунов, канд. пед. наук, доц.; ResearcherID: I-3668-2015, ORCID: 0000-0002-2914-0045*

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия; 163002, e-mail: darsenieva@mail.ru, j.kazakov@narfu.ru, e.okulova@narfu.ru

Рассмотрены свойства целлюлозы, полученной из отходов льняного производства (костры) пероксидно-ацетатным методом с использованием в качестве катализатора концентрированной серной кислоты. Лабораторные варки костры с содержанием целлюлозы 38,5 %, лигнина 15,0 % и зольностью 4,1 % проводили при гидромодуле 1:10. Расход катализатора составлял 1,0; 0,5 и 0,25 % от объема варочного раствора. Определены химические и структурно-морфологические свойства образцов по стандартным методикам. Установлено, что пероксидно-ацетатный способ варки целлюлозы из костры льна с использованием серной кислоты в качестве катализатора позволяет в одну ступень получить полуфабрикат с белизной более 79 % и числом микро-Каппа на уровне 3 единиц. Найдено оптимальное количество катализатора в варочном растворе – 0,5 % от объема, которое способствует улучшению качественных показателей льняной целлюлозы – уменьшению содержания лигнина, повышению белизны, снижению зольности и сохранению средней длины волокна. Показано, что снижение расхода катализатора до 0,25 % (об.) приводит к получению продукта с повышенным выходом (40 %), пониженными белизной и содержанием  $\alpha$ -целлюлозы, что свидетельствует о сохранении углеводного комплекса в процессе варки, уменьшении доли коротковолокнистых фракций и увеличении доли длиноволокнистых фракций за счет меньшего повреждения волокна в технологическом процессе.

*Для цитирования:* Арсеньева Д.Ю., Казаков Я.В., Окулова Е.О., Лагунов А.Ю. Закономерности процесса пероксидно-ацетатной делигнификации недревесного целлюлозосодержащего сырья в присутствии сернокислотного катализатора // Лесн. журн. 2019. № 3. С. 143–151. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.143

*Ключевые слова:* льняная целлюлоза, пероксидно-ацетатная делигнификация, надуксусная кислота, костра, переработка отходов.

### Введение

Основным сырьевым источником целлюлозы в настоящее время является древесина [9, 10]. Среди известных альтернативных источников получения целлюлозы наиболее перспективным считается недревесное растительное сырье.

Недревесное растительное сырье, в частности отходы сельскохозяйственных культур, не находят применения, так как большая его часть остается на полях и обычно сжигается, причиняя экологический ущерб окружающей

среде. Особо остро проблема переработки отходов сельского хозяйства стоит в тех российских регионах, где производство злаков является основной отраслью, получившей дополнительный импульс развития.

Главные достоинства подобного вида сырья – его ежегодная воспроизводимость (например, костры льна образуется до 46 тыс. т/год) и невысокая стоимость. Однолетние растения содержат ряд ценных соединений, в том числе и целлюлозу.

Наибольшее содержание целлюлозы имеют отходы льняного производства (костра, солома). Развитие льняного комплекса на территории Российской Федерации – одно из приоритетных направлений, имеющих государственную поддержку, которая отражена в федеральной целевой программе «Развитие льняного комплекса России на период до 2020 года».

Целлюлозу из недревесного растительного сырья можно выделять как традиционными щелочными способами делигнификации, так и окислительно-органосольвентными. Органосольвентные способы делигнификации, являясь экологически малоопасными, позволяют получать техническую целлюлозу с высоким выходом и уникальными свойствами в одну стадию без применения хлорсодержащих реагентов. Разрабатываются технологии и проводятся исследования, нацеленные на получение различных видов целлюлозы из недревесного растительного сырья [12–16].

В качестве способа варки в данной работе был применен пероксидно-ацетатный метод, в основе которого лежит варка с использованием надуксусной кислоты (НУК) –  $\text{CH}_3\text{COOOH}$ . Составляющие отработанных рабочих растворов легко разлагаются на воду, кислород и уксусную кислоту и являются малоопасными [8].

Пионером внедрения надкислот в промышленное производство целлюлозы стало предприятие «Kemiga» (г. Оулу, Финляндия) [17–23]. Там был разработан и запущен пилотный трехступенчатый процесс с применением надуксусной, муравьиной, уксусной и пероксимуравьиной кислот, получивший название «Milox». В настоящее время «Kemiga» применяет НУК как дополнительный делигнифицирующий агент, а также для ТCF-отбели (отбели целлюлозы без использования химикатов, содержащих соединения хлора) при производстве технической целлюлозы, механической массы и бумаги из вторичного волокна.

В работе [4] была рассмотрена технология получения целлюлозы и ваты из льняного волокна в промышленных условиях и на промышленном оборудовании, предназначенном для производства хлопковой целлюлозы. Установлено, что льняная целлюлоза и льняная вата лабораторного и промышленного изготовления по показателям физико-химических свойств соответствуют требованиям ГОСТ 595–79 [5] на хлопковую целлюлозу и ГОСТ 5556–81 [7] на вату гигроскопическую.

М.С. Вершининым, М.Р. Гараевой, В.К. Мингазовой [3] был проведен сравнительный анализ образцов целлюлозы из льна, конопли, люцерны и амаранта методом термогравиметрии и дифференциально-сканирующей калориметрии. Установлено, что целлюлоза из льна-долгунца обладает наиболее высокими термостойкими свойствами и по этим показателям приближена к хлопковой целлюлозе.

В работах [1, 2] установлено, что пероксидно-ацетатным способом варки целлюлозы из соломы льна можно получить волокнистый полуфабрикат с

высокой белизной. Использование данного способа для переработки костры и соломы льна позволит расширить сырьевую базу, но потребует изменения технологических режимов.

#### Объекты и методы исследования

Объектом исследования являлась костра льна предприятия ООО «Тверская АПК» (рис. 1, *a*). Результаты анализа компонентного состава исходного сырья представлены в табл. 1.



Рис. 1. Микрофотографии образцов из костры льна: *a* – исходное сырье; *b–г* – образцы целлюлозы 1–3 соответственно

Fig. 1. Micrographs of flax shive samples: *a* – raw material; *b–г* – pulp samples (*b* – 1; *в* – 2; *г* – 3)

Таблица 1

Компонентный состав костры льна

Показатель	Значение показателя, %
Зольность	4,16
Влажность	0,92
Экстрактивные вещества	4,29
Лигнин	15,0
Целлюлоза	38,5

Для варки применяли НУК производства «Криодез» (Группа компаний «Технология чистоты») концентрацией (15,0±1,5) %.

Лабораторные варки проводили в стеклянной термостатированной трехгорлой колбе, снабженной обратным холодильником и мешалкой, на масляной бане. Параметры варок: общий объем варочного раствора – 400 мл, в том числе НУК – 300 мл, вода – 100 мл, навеска сырья (костра) – 40 г абс. сухого сырья; продолжительность варки – 60 мин; температура варки – 90...100 °С. Расход катализатора – серной кислоты H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (конц.) для образцов 1, 2 и 3 составлял 4; 2 и 1 мл соответственно, или 1,00; 0,50 и 0,25 % от объема варочного раствора, или 18,4; 9,2 и 4,6 % (мас.) от навески сырья.

По окончании варки целлюлозу промывали дистиллированной водой на воронке Бюхнера.

Химические и структурно-морфологические свойства полученных образцов целлюлозы определяли по стандартным методикам, степень делигнификации – по методу микро-Каппа [11], содержание лигнина – по ГОСТ 11960–79 [6].

#### *Результаты исследования и их обсуждение*

Результаты определения химических и структурно-морфологических свойств образцов 1–3 целлюлозы из костры льна представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Химические и структурно-морфологические свойства образцов целлюлозы из костры льна**

Показатель	Образец		
	1	2	3
Расход катализатора, % (об.)	1,00	0,50	0,25
Выход, %	26,2	36,8	40,0
Число микро-Каппа, ед.	9,6	3,0	5,5
Содержание лигнина, %	0,135	0,042	0,077
Зольность, %	1,52	0,84	1,30
Белизна, %	76,3	79,4	74,7
Содержание α-целлюлозы, %	87,4	82,0	80,9
Средняя длина волокна, мм	0,24	0,31	0,36
Средняя ширина волокна, мкм	23,0	20,7	21,1
Грубость, дг	64,3	48,7	58,1

Используемая в качестве катализатора серная кислота вызывает активацию целлюлозы в результате ее набухания, чем способствует деструкции лигнина из сырья. Получаемый полуфабрикат обладает достаточно высокой белизной и низким содержанием лигнина, поэтому содержание лигнина определяли по методу микро-Каппа.

Установлено, что расход катализатора существенно влияет на результаты варки. Для образца 1 количество вводимой серной кислоты явно избыточно, поскольку полуфабрикат обладает пониженным выходом (26,2 %) и самым высоким содержанием лигнина (из исследованных образцов). Процесс делигнификации проходит с низкой избирательностью, кроме лигнина значительная часть гемицеллюлоз и легкогидролизуемых фракций целлюлозы пе-

реходят в раствор, что повышает содержание  $\alpha$ -целлюлозы (87,4 %). Гидролиз полисахаридов отражается на прочности волокон. Перемешивание массы в процессе варки приводит к повреждению волокон и их рубке, в результате полуфабрикат имеет самую низкую среднюю длину волокна – 0,24 мм.

При малом расходе катализатора (образец 3) получается продукт с повышенным выходом (40 %), пониженными белизной и содержанием  $\alpha$ -целлюлозы, что свидетельствует о сохранении углеводного комплекса в процессе варки.

Эксперимент показал, что наиболее оптимальным расходом катализатора является 0,5 % от общего объема раствора (образец 2). На выходе эта целлюлоза имеет достаточно низкие числа микро-Каппа (3 ед.) и содержание лигнина (0,042 %). По сравнению с исходным сырьем зольность снижена почти в 5 раз и составляет 0,84 %.

Для оценки возможности использования в композиции бумаги и картона полученного волокна были определены его структурно-морфологические свойства на автоматизированном анализаторе волокна L&W FiberTester, Средняя длина волокна – 0,24...0,36 мм; при снижении объема катализатора наблюдалось небольшое возрастание этого показателя. Средняя ширина волокна – 20,7...23,0 мкм.

Фракционный состав образцов целлюлозы из костры льна по длине волокна приведен на рис. 2.

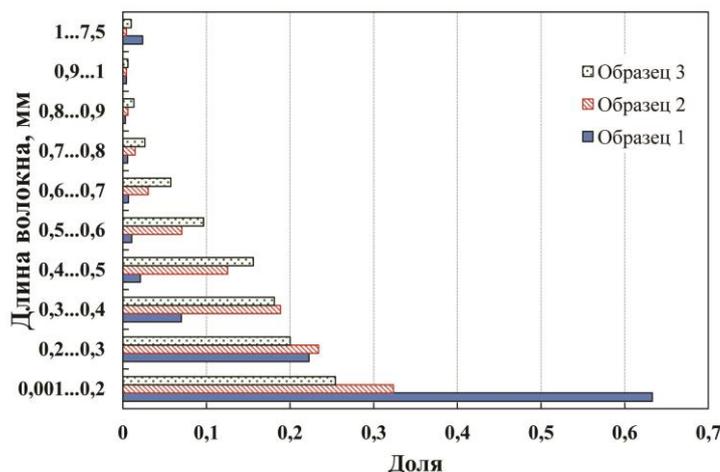


Рис. 2. Фракционный состав по длине волокна образцов целлюлозы, полученной из костры льна

Fig. 2. Fiber length distribution of pulp samples obtained from flax shive

Большую часть составляют короткие волокна длиной менее 0,2 мм. Такая длина волокон характерна для растительного сырья, но она слишком мала для самостоятельного использования в производстве бумаги. Однако эти волокна могут выступать и в качестве добавки в композицию макулатурных видов бумаги и картона. Уменьшение расхода катализатора приводит к снижению доли коротковолокнистых фракций и росту доли длинноволокнистых за счет меньшего повреждения волокна в технологическом процессе.

Для проведения микроскопических исследований образцов целлюлозы применяли моторизованный микроскоп высокого разрешения «Imager Z2m Carl Zeiss».

Установлено, что анатомические элементы целлюлозы из льняной костры представляют собой короткие волокна с низким соотношением «длина : ширина». Микрофотографии (см. рис. 1, б–г) наглядно демонстрируют, что волокна такой целлюлозы имеют ряд отличий от волокон из древесины и даже в неразмолотом состоянии содержат обрывки волокон, образовавшиеся, по всей видимости, при перемешивании волокнистой массы мешалкой в процессе варки.

#### Выводы

1. Использование пероксидно-ацетатного способа варки целлюлозы из костры льна с использованием серной кислоты в качестве катализатора позволяет в одну ступень получить полуфабрикат с белизной более 79 % и числом Каппа 3 ед.

2. Оптимальный расход катализатора составляет 0,5 % от объема варочного раствора, что способствует улучшению качественных показателей льняной целлюлозы – уменьшению содержания лигнина, повышению белизны, снижению зольности и сохранению средней длины волокна.

3. Снижение расхода катализатора до 0,25 % (об.) приводит к получению продукта с повышенным выходом (40 %), пониженной белизной и содержанием  $\alpha$ -целлюлозы, что свидетельствует о сохранении углеводного комплекса в процессе варки, приводит к уменьшению доли коротковолокнистых фракций и увеличению доли длиноволокнистых за счет меньшего повреждения волокна в технологическом процессе.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арсеньева Д.Ю., Захарова А.А., Артемов А.В. Особенности пероксидно-ацетатного метода получения целлюлозы из растительного материала // *Естественные и технические науки*. 2016. № 8(98). С. 30–32.
2. Арсеньева Д.Ю., Казаков Я.В. Бумагообразующие свойства волокна, полученного из соломы льна пероксидно-ацетатным методом // *Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов: материалы IV Междунар. науч.-техн. конф.* (Архангельск, 14–16 сент. 2017 г.) Архангельск: САФУ, 2017. С. 303–307.
3. Вершинин М.С., Гараева М.Р., Мингазова В.К. Исследование термических характеристик целлюлоз, полученных из растительного сырья // *Приволж. науч. вестн.* 2017. № 3(67). С. 10–13.
4. Волкова Н.Н., Обрезкова М.В., Куничан В.А. Получение льняной целлюлозы на технологической линии производства хлопковой целлюлозы // *Ползунов. вестн.* 2007. № 3. С. 25–27.
5. ГОСТ 595–79. Целлюлоза хлопковая. Технические условия. Введ. 1980–07–01. М.: Изд-во стандартов, 2002. 14 с.
6. ГОСТ 11960–79. Полуфабрикаты волокнистые и сырье из однолетних растений для целлюлозно-бумажного производства. Метод определения лигнина. Введ. 1981–01–01. М.: Изд-во стандартов, 1985. 4 с.
7. ГОСТ 5556–81. Вата медицинская гигроскопическая. Технические условия. Введ. 1982–07–01. М.: Изд-во стандартов, 1993. 13 с.
8. Глазова Н.В., Сатина О.И. НУК: экологически безопасная альтернатива хлопру // *Птица и птицепродукты*. 2010. № 1. С. 58–60.

9. Коваленко М.В., Сибяева А.П. Сопоставительный анализ сорбционной способности образцов целлюлозы из древесины лиственницы и образцов целлюлозы из древесины сосны // Theoretical & Applied Science. 2013. № 12(8). С. 31–34. DOI: 10.15863/TAS.2013.12.8.7

10. Кузнецов Б.Н., Кузнецова С.А., Данилов В.Г., Яценкова О.В. Каталитические методы переработки древесины в целлюлозу с низким содержанием лигнина // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2007. № 12. С. 27–30.

11. Миловидова Л.А., Холмова М.А., Комарова Г.В. Отбелка целлюлозы: метод. указания к выполнению лаб. работ. Архангельск: САФУ, 2011. С. 20–22.

12. Минакова А.П. Получение целлюлозы окислительно-органо-сольвентным способом при переработке недревесного растительного сырья: дис. ... канд. техн. наук. Архангельск, 2008. 151 с.

13. Barbash V., Poyda V., Deykun I. Peracetic Acid Pulp from Annual Plants // Cellulose Chemistry and Technology. 2011. Vol. 45, iss. 9–10. Pp. 613–618.

14. Biswas A., Saha B.C., Lawton J.W., Shogren R.L., Willett J.L. Process for Obtaining Cellulose Acetate from Agricultural By-Products // Carbohydrate Polymers. 2006. Vol. 64, iss. 1. Pp. 134–137. DOI: 10.1016/j.carbpol.2005.11.002

15. Coletti A., Valerio A., Vismara E. *Posidonia oceanica* as a Renewable Lignocellulosic Biomass for the Synthesis of Cellulose Acetate and Glycidyl Methacrylate Grafted Cellulose // Materials. 2013. Vol. 6(5). Pp. 2043–2058. DOI: 10.3390/ma6052043

16. Jackson M., Lewis K.S., Lewis M.S., McKean W.T., Pan W.L. Final Report on Washington State Department of Ecology AG-Burning Permit Project Contract no. C030085 for Lewis Engineering Consultants. 2003. 70 p.

17. Laamanen L.A., Sundquist J.J., Wartiovaara Y.P. Menetelma valkaistun selluloosamassan valmistamiseksi ligniimpitoisesta raaka-ameesta. Pat. Finland no. 74750. 1988.

18. Pohjanvesi S., Saan K., Poppius-Levlin K., Sundquist J. Technical and Economical Feasibility Study of the Milox Process // Proceedings of the 8th International Symposium on Wood and Pulping Chemistry June 6–9, 1995, Helsinki, Finland. Helsinki, 1995. Vol. 2. Pp. 231–236.

19. Poppius K., Laamanen L., Sundquist J., Wartiovaara I., Kaulimakis A. Bleached Pulp by Peroxyacid-Alkaline Delignification // Paperi Ja Puu. 1986. Vol. 68, no. 2. Pp. 87–88, 90–92.

20. Poppius-Levlin K., Mustonen R., Muovila T., Sundquist J. Milox Pulping with Acetic Acid-Peroxyacetic Acid // Paperi Ja Puu. 1991. Vol. 73, no. 2. Pp. 154–158.

21. Sundquist J. From Test Tube to Pilot Plant: The First Miles on the Roach of the Milox Pulping and Bleaching Method. Finn. Chem. Congr., Helsinki, November 12–14, 1991 // Kemia-kemi. 1991. No. 108.

22. Sundquist J. Chemical Pulping Based on Formic Acid: Summary of Milox Research // Paperi Ja Puu. 1996. Vol. 78, no. 3. Pp. 92–95.

23. Sundquist J., Laamanen L., Poppius K. Problems of Nonconventional Pulping Process in the Light of Peroxyformic Acid Cooking Experiments // Paperi Ja Puu. 1988. Vol. 70, no. 2. Pp. 143, 145–148.

Поступила 07.09.18

UDC 676.16.022.6.034

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.143

### **Peroxide-Acetate Delignification Patterns of Non-Wood Raw Material Containing Cellulose in the Presence of Sulfuric Catalyst**

*D.Yu. Arsenyeva, Postgraduate Student; ORCID: [0000-0002-7816-6727](https://orcid.org/0000-0002-7816-6727)*

*Ya.V. Kazakov, Doctor of Engineering, Assoc. Prof.; ResearcherID: [J-4634-2012](https://orcid.org/J-4634-2012),*

*ORCID: [0000-0001-8505-5841](https://orcid.org/0000-0001-8505-5841)*

*E.O. Okulova, Postgraduate Student*

*A.Yu. Lagunov, Candidate of Pedagog., Assoc. Prof.; ResearcherID: [I-3668-2015](https://orcid.org/I-3668-2015),*

*ORCID: [0000-0002-2914-0045](https://orcid.org/0000-0002-2914-0045)*

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: [darsenieva@mail.ru](mailto:darsenieva@mail.ru), [j.kazakov@narfu.ru](mailto:j.kazakov@narfu.ru), [e.okulova@narfu.ru](mailto:e.okulova@narfu.ru)

The paper considers the properties of cellulose obtained from flax production wastes (shive) by peroxide-acetate method using concentrated sulfuric acid as a catalyst. Pulping of flax shive with 38.5 % of cellulose, 15 % of lignin, and 4.1 % of ash were carried out under the laboratory conditions with 1:10 hydromodulus. The catalyst consumption was 1.0, 0.5 and 0.25 % of the pulping solution volume. Chemical and structural-morphological properties of obtained samples were determined by standard methods. It has been found that the use of peroxide-acetate method of flax shive pulping using sulfuric catalyst allows to obtain a semi-finished product with more than 79 % of whiteness and Kappa of 3 units in one step. The most optimal ratio of the catalyst in the pulping solution is 0.5 % by the volume to the pulping solution, which contributes to the quality improvement of flax cellulose: lignin content reducing, whiteness increasing, ash content decreasing, and mean fiber length maintaining. It is shown that reduction in catalyst consumption to 0.25 % (vol.) leads to manufacturing a product with an increased yield (40 %), reduced whiteness and  $\alpha$ -cellulose content, which indicates the preservation of the carbohydrate complex during pulping, decrease in the short fiber fractions proportion, and increase in the long fiber proportion due to the reduced fiber damage in the process.

**For citation:** Arsenyeva D.Yu., Kazakov Ya.V., Okulova E.O., Lagunov A.Yu. Peroxide-Acetate Delignification Patterns of Non-Wood Raw Material Containing Cellulose in the Presence of Sulfuric Catalyst. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2019, no. 3, pp. 143–151. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.143

**Keywords:** flax cellulose fiber, peroxide acetate method, peracetic acid, flax shive, waste recycling.

#### REFERENCES

1. Arsenyeva D.Yu., Zakharova AA, Artemov A.V. Features of the Peroxide Acetate Method of Obtaining Pulp from Plant Material. *Estestvennyye i tekhnicheskiye nauki* [Natural and Technical Sciences], 2016, no. 8, pp. 30–33.
2. Arsenyeva D.Yu., Kazakov Ya.V. Paper-Forming Properties of Fibers Obtained from Flax Straw by Peroxide Acetate Method. *The Issues in Mechanics of Pulp and Paper Materials: Proc. of the IV Int. Sci.-Tech. Conf. (Arkhangelsk, September 14–16, 2017)*. Arkhangelsk, NArFU Publ., 2017, pp. 303–307.
3. Vershinin M.S., Garaeva M.R., Mingazova V.K. Research of Celluloses Thermal Characteristics which Was Produced from Plant Raw Materials. *Privolzhskij nauchnyj vestnik*, 2017, no. 3(67), pp. 10–13.

4. Volkova N.N., Obrezkova M.V., Kunichan V.A. Flax Pulp Production on the Cotton Cellulose Production Line. *Polzunovskiy vestnik* [Polzunovsky Vestnik], 2007, no. 3, pp. 25–27.
5. GOST 595–79. *Cotton cellulose. Technical Specifications*. Moscow, Standards Publ., 2002. 14 p.
6. GOST 11960–79. *Fibre Semi-Products and Raw Materials of Annuals for and Paper Industry. Method for Determination of Lignin*. Moscow, Standards Publ., 1985. 4 p.
7. GOST 5556–81. *Absorbent Medical Cotton Wool. Technical Specifications*. Moscow, Standards Publ., 1993. 13 p.
8. Glazova N.V., Satina O.I. Peracetic Acid (PAA): An Environmentally Friendly Alternative to Chlorine. *Ptitsa i ptitseprodukty*, 2010, no. 1, pp. 58–60.
9. Kovalenko M.V., Sibaeva A.R. Comparative Analysis of the Sorption Capacity of Larch and Pine Wood Pulp Samples. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 2013, no. 12(8), pp. 31–34. DOI: 10.15863/TAS.2013.12.8.7
10. Kuznetsov B.N., Kuznetsova S.A., Danilov V.G., Yatsenkova O.V. Catalytic Methods of Processing of Wood into Pulp with Low Contents of Lignin. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton*, 2007, no. 12, pp. 27–30.
11. Milovidova L.A., Kholmova M.A., Komarova G.V. *Pulp Bleaching: Laboratory Operations Manual*. Arkhangelsk, NARFU Publ., 2011, pp. 20–22.
12. Minakova A.R. *Cellulose Production by an Oxidation and Organo-Solvent Method in the Processing of Non-Wood Plant Raw Materials: Cand. Eng. Sci. Diss.* Arkhangelsk, 2008. 151 p.
13. Barbash V., Poyda V., Deykun I. Peracetic Acid Pulp from Annual Plants. *Cellulose Chemistry and Technology*, 2011, vol. 45, iss. 9–10, pp. 613–618.
14. Biswas A., Saha B.C., Lawton J.W., Shogren R.L., Willett J.L. Process for Obtaining Cellulose Acetate from Agricultural By-Products. *Carbohydrate Polymers*, 2006, vol. 64, iss. 1, pp. 134–137. DOI: 10.1016/j.carbpol.2005.11.002
15. Coletti A., Valerio A., Vismara E. *Posidonia oceanica* as a Renewable Lignocellulosic Biomass for the Synthesis of Cellulose Acetate and Glycidyl Methacrylate Grafted Cellulose. *Materials*, 2013, vol. 6(5), pp. 2043–2058. DOI: 10.3390/ma6052043
16. Jackson M., Lewis K.S., Lewis M.S., McKean W.T., Pan W.L. *Final Report on Washington State Department of Ecology AG-Burning Permit Project Contract no. C030085 for Lewis Engineering Consultants*. 2003. 70 p.
17. Laamanen L.A., Sundquist J.J., Wartiovaara Y.P. *Menetelma valkaistun selluloosamassan valmistamiseksi ligniimpitoisesta raaka-ameesta*. Pat. Finland no. 74750, 1988.
18. Pohjanvesi S., Saan K., Poppius-Levlin K., Sundquist J. Technical and Economical Feasibility Study of the Milox Process. *Proceedings of the 8th International Symposium on Wood and Pulping Chemistry June 6–9, 1995, Helsinki, Finland*. Helsinki, 1995, vol. 2, pp. 231–236.
19. Poppius K., Laamanen L., Sundquist J., Wartiovaara I., Kaulimakis A. Bleached Pulp by Peroxyacid-Alkaline Delignification. *Paperi Ja Puu*, 1986, vol. 68, no. 2, pp. 87–88, 90–92.
20. Poppius-Levlin K., Mustonen R., Muovila T., Sundquist J. Milox Pulping with Acetic Acid-Peroxyacetic Acid. *Paperi Ja Puu*, 1991, vol. 73, no. 2, pp. 154–158.
21. Sundquist J. From Test Tube to Pilot Plant: The First Miles on the Roach of the Milox Pulping and Bleaching Method. *Finn. Chem. Congr., Helsinki, November 12–14, 1991. Kemia-kemi*, 1991, no. 108.
22. Sundquist J. Chemical Pulping Based on Formic Acid: Summary of Milox Research. *Paperi Ja Puu*, 1996, vol. 78, no. 3, pp. 92–95.
23. Sundquist J., Laamanen L., Poppius K. Problems of Nonconventional Pulping Process in the Light of Peroxyformic Acid Cooking Experiments. *Paperi Ja Puu*, 1988, vol. 70, no. 2, pp. 143–148.

Received on September 07, 2018



УДК 634\*

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.152

### СОКРАЩЕНИЕ ПЛОЩАДИ МАЛОНАРУШЕННЫХ ЛЕСНЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА ПРИМЕРЕ ДВИНСКО-ПИНЕЖСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ

*А.А. Карпов, аспирант; ResearcherID: H-1915-2019, ORCID: 0000-0002-9087-8399*

Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства, ул. Никитова, д. 13, г. Архангельск, Россия, 163062; e-mail: xxstrpatrickxx@gmail.com

Сокращение площади малонарушенных лесных территорий – это одна из мировых проблем. Исчезновение нетронутых лесов подвергает опасности эндемические виды животных, которые не способны выжить на трансформированных и фрагментированных человеком землях. Участок нетронутых человеком лесов, расположенный на Европейском Севере России, в районе Двинско-Пинежского междуречья, является ярким примером изменения площади девственных лесов за последние 17 лет. Данные Всемирного фонда дикой природы свидетельствуют, что от сохранения этой территории напрямую зависит выживание в Архангельской области северного дикого оленя, который занесен в Красную книгу России. Определение границ малонарушенных лесных территорий проводится по методикам, разработанным природоохранными организациями. Для этого используются спутниковые снимки среднего разрешения, позволяющие дешифровать вырубку, гари и лесные дороги. В дальнейшем выделенные объекты исключаются из границ этой территории. В работе использовались сведения о границах, определенных по состоянию на 2000 и 2013 г.; данные по состоянию границ на 2017 г. были получены с помощью дешифровки спутниковых снимков и учета обновления предыдущих границ в 2013 г. Установлено, что площадь малонарушенных лесных земель в районе Двинско-Пинежского междуречья с 2000 по 2017 г. уменьшилась на 375 520 га за счет непосредственной деятельности человека при проводимых рубках и создании дорожной сети. Как показал анализ данных за последние 17 лет, главным фактором, негативно влияющим на этот процесс, является развитие дорожной сети в области.

*Для цитирования:* Карпов А.А. Сокращение площади малонарушенных лесных территорий на примере Двинско-Пинежского междуречья // Лесн. журн. 2019. № 3. С. 152–158. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.152

*Ключевые слова:* малонарушенные лесные территории, добровольная лесная сертификация, дистанционное зондирование Земли, лесной мониторинг, Двинско-Пинежское междуречье.

#### *Введение*

В мировой практике понятие «малонарушенные лесные территории» (МЛТ) означает территории, где не велась хозяйственная деятельность и которые сохранили свое первозданное состояние. В границы МЛТ входят целостные природные территории, содержащие лесные и нелесные экосистемы, площадью более 50 тыс. га [4].

Впервые оценка всей площади МЛТ во всем мире была произведена в 1989 г. по авиационным снимкам, но это были весьма условные данные [6]. Точные границы МЛТ были получены в 2000 г. по спутниковым снимкам Landsat 5, в 2013 г. границы были обновлены по спутниковым снимкам Landsat 8 [2].

Понятие МЛТ появилось в России вместе с добровольной лесной сертификацией (FSC) [1]. Российский национальный стандарт FSC определяет МЛТ как леса высокой природоохранной ценности (ЛВПЦ) 2-го уровня [3]. Полная методика выделения МЛТ изложена в Атласе малонарушенных лесных территорий России, который также содержит карты выделенных МЛТ по состоянию на 2000 г. [1, 8].

По оценкам Гринпис России, общая площадь МЛТ Европейского Севера России составляет 31,7 млн га, или 13,8 % от общей площади лесной зоны Европейской России по состоянию на 2000 г. [5, 7].

Цель исследования – обновление границ МЛТ по состоянию на 2017 г. и изучение динамики их площади на примере территории Двинско-Пинежского междуречья (Архангельская область) с использованием методики, изложенной в [1], доступных данных и спутниковых снимков.

#### *Объекты и методы исследования*

Основные правила выявления и обновления границ МЛТ с помощью данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) [1] в данной работе следующие:

минимальная площадь МЛТ – более 50 тыс. га;

минимальная ширина коридора, соединяющего две части МЛТ, – более 2 км;

вырубки, лесные гари, вызванные антропогенным воздействием, исключаются из территории МЛТ; близость лесной гари к дороге или вырубке указывает на антропогенную причину пожара;

от лесовозных дорог строится буфер шириной 1 км, который исключается из территории МЛТ;

после исключения вырубок, антропогенных лесных гарей и буфера от дорог исключаются фрагментированные части МЛТ, которые не соответствуют минимальной площади и минимальной ширине коридора для МЛТ.

Для обновления границ МЛТ в районе Двинско-Пинежского междуречья использовались данные:

актуализированные границы МЛТ по состоянию на 2013 г. (данные получены с сайта: [intactforests.org](http://intactforests.org));

пространственные данные уменьшения лесопокрытой площади от университета Мэриленда 2016 г. (данные получены с сайта: [earthenginepartners.appspot.com](http://earthenginepartners.appspot.com));

спутниковые снимки среднего разрешения Landsat 8 OLI за 2016 и 2017 гг. (данные получены с сайта: [earthexplorer.usgs.gov](http://earthexplorer.usgs.gov));

спутниковые снимки высокого разрешения сервиса Google.

Для актуализации границ МЛТ от 2013 г. на период 2013–2016 гг. использовали слой данных университета Мэриленда. Данные о вырубках, гарях и дорогах за период 2016–2017 гг. получены методом визуального сравнения снимков Landsat 8 (рис. 1).

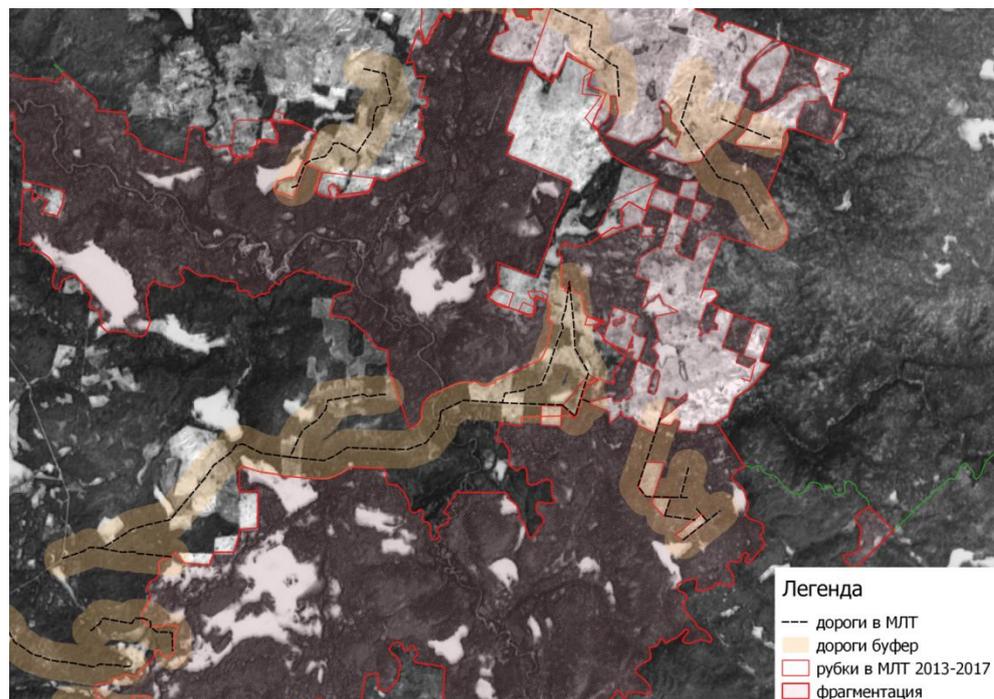


Рис. 1. Карта-схема выделения вырубок, дорог и фрагментированных участков по спутниковым снимкам Landsat 8

Fig. 1. Topological map of logged areas, roads and fragmented areas using Landsat 8 satellite images

После выявления объектов антропогенного воздействия их границы были уточнены по снимкам высокого разрешения сервиса Google, которые доступны для большей части территории МЛТ Двинско-Пинежского междуречья.

#### *Результаты исследования и их обсуждение*

В ходе проведенной работы по актуализации границ была рассчитана новая площадь территории МЛТ в районе Двинско-Пинежского междуречья, которая по состоянию на 2017 г. составила 770 491 га.

С использованием данных сайта [intactforests.org](http://intactforests.org) получены границы МЛТ по состоянию на 2000 и 2013 гг.

Данные на основании этих пространственных слоев приведены табл. 1.

Таблица 1

**Площадь МЛТ (га) в районе Двинско-Пинежского междуречья в 2000, 2013 и 2017 гг.**

Год	Площадь
2000	1 146 011
2013	914 675
2017	770 491

Как видно из табл. 1, за период с 2000 по 2013 г. площадь уменьшилась на 231 336 га, или на 20,2 %, с 2000 по 2017 г. – на 32,8 %. Наиболее интенсивно среднее ежегодное уменьшение площади лесов происходило в 2013–2017 гг.

Основные причины сокращения площади МЛТ в районе Двинско-Пинежского междуречья в 2013–2017 гг. отражены в табл. 2

Таблица 2

**Причины уменьшения площади МЛТ  
в районе Двинско-Пинежского междуречья в 2013–2017 гг.**

Причина	Уменьшение площади	
	га	%
Вырубка	19 608	14
Дорожная сеть (буфер)	30 516	21
Фрагментация и участки, не соответствующие критериям МЛТ	94 060	65
<i>Итого</i>	144 184	100

Из табл. 2 следует, что наибольшее снижение площади приходится на фрагментированные участки и участки, не соответствующие критериям МЛТ, что составляет 65 % от уменьшения общей площади за 2013–2017 гг.

Изменение границ МЛТ за эти годы представлено на рис. 2.

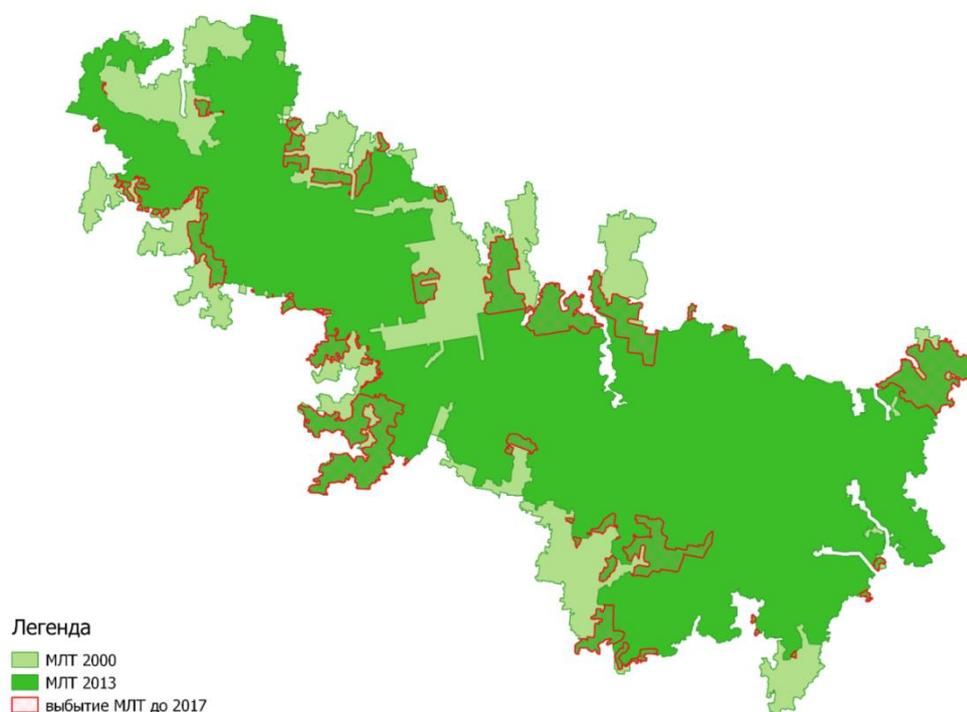


Рис. 2. Карта-схема изменения границ МЛТ в 2000, 2013 и 2017 гг.

Fig. 2. Topological map of territorial changes of intact forest landscapes in 2000, 2013 and 2017

Приведенные на рис. 2 изменения наглядно показывают, что основное уменьшение площади происходит по периферийной части МЛТ и эта тенденция сохраняется на протяжении последних 17 лет использования лесов в данном районе. Дальнейшее лесопользование может привести к разделению территории на отдельные фрагменты, что негативно повлияет на условия обитания дикого северного оленя, занесенного в Красную книгу.

#### Заключение

Фрагментированные участки, не соответствующие критериям МЛТ, имеют наибольшую площадь среди площадей, выводимых из состава МЛТ за период с 2013 по 2017 г. Но главным фактором уменьшения площади нетронутых лесных территорий является развитие дорожной сети. В процентном отношении площадь буфера от дорог не является решающим фактором сокращения МЛТ. Однако дороги отделяют большие участки от основной территории, а участок менее 50 тыс. га перестает считаться МЛТ.

Необходимость изучения темпов сокращения МЛТ связана с решением задач по их сохранению. Новое правило добровольной лесной сертификации по системе FSC (Motion 65), которое вступило в силу с 1 января 2017 г., запрещает лесопользователю вырубать более 20 % площади МЛТ, находящейся в аренде. Границы для учета 20 % площади определяются на 1 января 2017 г.

В границах Двинско-Пинежского МЛТ планируется создание заказника площадью 300 000 га, поэтому площадь, доступная для аренды, составит 470 491 га. Основные лесопользователи, осуществляющие аренду в границах данной МЛТ, имеют FSC-сертификаты, поэтому максимальное уменьшение площади МЛТ от площади по состоянию на 1 января 2017 г. будет составлять не более 94 098 га.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксенов Д.Е., Добрынин Д.В., Дубинин М.Ю., Егоров А.В., Исаев А.С., Карпачевский М.Л., Лестадиус Л.Г., Потапов П.В., Пуреховский А.Ж., Турубанова С.А., Ярошенко А.Ю. Атлас малонарушенных лесных территорий России. М.: Изд-во Междунар. Соц.-экол. союза; Вашингтон: World Resources Inst., 2003. 187 с.
2. Журавлева И.В., Комарова А.В., Потапов П.В., Турубанова С.А., Ярошенко А.Ю. Малонарушенные лесные территории в бореальных лесах мира. Происхождение, развитие, значение и возможное будущее концепции малонарушенных лесных территорий применительно к бореальным лесам // Russian Journal of Ecosystem Ecology. 2016. Т. 1(1). Рр. 1–11. DOI: 10.21685/2500-0578-2016-1-5
3. Российский национальный стандарт добровольной лесной сертификации по схеме FSC: утв. 11.11.2008. Российский национальный офис FSC, 2012. 199 с.
4. Трофимова Н.В., Сипкин В.А., Брюханов А.В., Неповинных А.Г., Шебета Д.И., Астапенко С.А., Гвоздарев А.А. Методические подходы и рекомендации по зонированию малонарушенных лесных территорий в Сибирском федеральном округе // Красноярск: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2018. 64 с.
5. Ярошенко А.Ю., Потапов П.В., Турубанова С.А. Малонарушенные лесные территории Европейского Севера России. М.: Гринпис России, 2001. 75 с.
6. McCloskey J.M., Spalding H. A Reconnaissance-Level Inventory of the Amount of Wilderness Remaining in the World // Ambio. 1989. Vol. 18, no. 4. Pp. 221–227.
7. Potapov P., Hansen M.C., Laestadius L., Turubanova S., Yaroshenko A., Thies C., Smith W., Zhuravleva I., Komarova A., Minnemeyer S., Esipova E. The Last Frontiers of

Wilderness: Tracking Loss of Intact Forest Landscapes from 2000 to 2013 // *Science Advances*. 2017. Vol. 3, no. 1, article no. e1600821. DOI: 10.1126/sciadv.1600821

8. Potapov P., Yaroshenko A., Turubanova S., Dubinin M., Laestadius L., Thies C., Aksenov D., Egorov A., Yesipova Y., Glushkov I., Karpachevskiy M., Kostikova A., Manisha A., Tsybikova E., Zhuravleva I. Mapping the World's Intact Forest Landscapes by Remote Sensing // *Ecology and Society*. 2008. Vol. 13, no. 2, article no. 51.

Поступила 18.01.19

UDC 634\*

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.152

### Area Reduction of Intact Forest Landscapes on the Example of the Dvina-Pinega Interfluve

A.A. Karpov, Postgraduate Student; ResearcherID: [H-1915-2019](#), ORCID: [0000-0002-9087-8399](#)  
Northern Research Institute of Forestry, ul. Nikitova, 13, Arkhangelsk, 163062, Russian Federation; e-mail: xxstpatrickxx@gmail.com

Area reduction of intact forest landscapes (IFL) is one of the world's problems. Disappearing of pristine forests endangers endemic species of animals that are not able to survive on the lands transformed and fragmented by human. The pristine forest site located in the European North of Russia in the Dvina-Pinega interfluve is a clear example of the forest area changed over the last 17 years. According to the World Wildlife Fund, the survival of the reindeer, which is listed in the Red Book of Russia, in Arkhangelsk region directly depends on this territory. Borders determination of IFLs is carried out by the procedures developed by environmental organizations. Medium-resolution satellite images are used to define the borders, which can be used for recognition of cuttings, burnings, and forest roads. Hereafter, the selected items are excluded from the borders of this territory. In the research, we had used layers with the previously defined (in 2000 and 2013) borders of the IFL; data on the IFL borders in 2017 were obtained through the decoding satellite images and updating the previous border in 2013. The territory of the Dvina-Pinega IFL decreased by 375 520 ha from 2000 to 2017. The reduction of this territory was directly caused by human activity, namely the ongoing logging and development of a forest road network. As the data analysis of the last 17 years has shown, the main factor negatively influencing this process is development of the road network in the region.

**For citation:** Karpov A.A. Area Reduction of Intact Forest Landscapes on the Example of the Dvina-Pinega Interfluve. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2019, no. 3, pp. 152–158. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.152

**Keywords:** intact forest landscapes, voluntary forest certification, Earth's remote sensing, forest monitoring, Dvina-Pinega interfluve.

### REFERENCES

1. Aksenov D., Dobrynin D., Dubinin M., Egorov A., Isayev A., Karpachevskiy M., Laestadius L., Potapov P., Purekhovskiy A., Turubanova S., Yaroshenko A. *Atlas of Russia's Intact Forest Landscapes*. Moscow, Socio-Ecological Union Publ., 2003. 186 p.
2. Zhuravleva I.V., Komarova A.V., Potapov P.V., Turubanova S.A., Yaroshenko A.Yu. Mildly-Damaged Forest Areas in Boreal Forests of the World. The Origin, Development, Importance and Probable Future of the Concept of Mildly-Damaged Forest Areas with Regard to Boreal Forests. *Russian Journal of Ecosystem Ecology*, 2016, vol. 1(1), pp. 1–11. DOI: 10.21685/2500-0578-2016-1-5

3. *FSC Forest Stewardship Council Standard for Russian Federation*. FSC Russian National Office, 2012. 199 p.

4. Trofimova N.V., Sipkin V.A., Bryukhanov A.V., Nepovinnykh A.G., Shebeta D.I., Astapenko S.A., Gvozdarev A.A. *Methodological Approaches and Recommendations on Zoning of Intact Forest Landscapes in Siberian Federal District*. Krasnoyarsk, WWF Publ., 2018. 64 p.

5. Yaroshenko A.Yu., Potapov P.V., Turubanova S.A. *The Last Intact Forest Landscapes of Northern European Russia*. Moscow, Greenpeace Russia Publ., 2001. 75 p.

6. McCloskey J.M., Spalding H. A Reconnaissance-Level Inventory of the Amount of Wilderness Remaining in the World. *Ambio*, 1989, vol. 18, no. 4, pp. 221–227.

7. Potapov P., Hansen M.C., Laestadius L., Turubanova S., Yaroshenko A., Thies C., Smith W., Zhuravleva I., Komarova A., Minnemeyer S., Esipova E. The Last Frontiers of Wilderness: Tracking Loss of Intact Forest Landscapes from 2000 to 2013. *Science Advances*, 2017, vol. 3, no. 1, article no. e1600821. DOI: 10.1126/sciadv.1600821

8. Potapov P., Yaroshenko A., Turubanova S., Dubinin M., Laestadius L., Thies C., Aksenov D., Egorov A., Yesipova Y., Glushkov I., Karpachevskiy M., Kostikova A., Manisha A., Tsybikova E., Zhuravleva I. Mapping the World's Intact Forest Landscapes by Remote Sensing. *Ecology and Society*, 2008, vol. 13, no. 2, article no. 51.

Received on January 18, 2019

---

УДК 630\*232.411.11

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.159

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ СТРУКТУРА УГЛЕРОДНОГО ПУЛА В НАДЗЕМНОЙ ФИТОМАССЕ КУЛЬТУР СОСНЫ И ЕЛИ

*Н.Р. Сунгурова, д-р с.-х. наук, доц.; ResearcherID: H-1847-2019, ORCID: 0000-0002-8464-4596*

*В.В. Худяков, канд. с.-х. наук; ORCID: 0000-0002-8782-7021*

*С.Е. Страздаускас, магистрант; ORCID: 0000-0001-9407-9407*

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

В круговороте углерода на планете мощными стабилизаторами выступают лесные насаждения. Поэтому мировое научное сообщество проявляет огромное внимание к изучению углерододепонирующей функции лесных массивов. Большой шаг вперед может быть осуществлен в точности оценок запасов углекислого газа путем формирования банка данных о запасах углерода в фитомассе лесных площадей. Для определения количества углерода, аккумулированного различными фракциями надземной фитомассы, проводятся периодические исследования в культурах сосны обыкновенной и ели европейской в Архангельской области. Установлено, что к концу второго класса возраста сосновые культурфитоценозы аккумулируют углерод в 4 раза активнее еловых (119,3 т/га против 30,08 т/га). Запасы депонированного углерода по мере роста растений независимо от породы во всех фракциях надземной фитомассы увеличиваются. Как в насаждениях сосны, так и ели наибольшая доля аккумуляции углерода отмечена у фракции стволовой древесины. Второй по величине депонирования углерода в культурах ели является древесная зелень, в культурах сосны – ветви. Наименьшее количество накапливаемого углерода сосредоточено во фракциях сухих сучьев сосны (4,3 %) и ветвей ели (4,4 %). При организации эффективных мер по рациональному использованию лесных ресурсов и оценке экологических функций лесов полученный нами массив экспериментальных данных по углеродному пулу в лесных культурах окажет помощь в процессе формирования банка данных о запасах углерода в надземной фитомассе лесов.

**Для цитирования:** Сунгурова Н.Р., Худяков В.В., Страздаускас С.Е. Сравнительная структура углеродного пула в надземной фитомассе культур сосны и ели // Лесн. журн. 2019. № 3. С. 159–165. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.159

**Ключевые слова:** лесные культуры сосны, лесные культуры ели, надземная фитомасса, углеродный пул, аккумуляция.

### Введение

На нашей планете леса выступают мощными накопителями углерода, аккумулированного в живых растениях, их остатках различной степени деструкции, в гумусе и торфе. В зависимости от природно-экономических условий насаждения могут являться либо хранителем (стоком, резервуаром) углерода, либо – при неразумных формах хозяйствования – его источником (эмиссией) поступления в биосферу. Для активации депонирования углерода целесообразно использовать лесной покров. Кроме аккумуляции углерода леса выполняют важные экологические и ресурсные функции. На основании этого достигается тройной эффект – депонирование излишков углерода, повышение ресурсного потенциала и улучшение природной среды [13].

Баланс углекислого газа (CO<sub>2</sub>) на Земле складывается из биологических (поступление и поглощение CO<sub>2</sub> в результате фотосинтеза и дыхания) и химических (поступление CO<sub>2</sub> при расщеплении карбонатов, лесных и степных пожарах, промышленном сжигании угля, нефти, газа, потреблении CO<sub>2</sub> при выветривании силикатов) процессов. В общем поглощении атмосферного углерода неорганические процессы играют незначительную роль (всего 0,1 %).

Главные позиции в связывании атмосферного углерода принадлежат фотосинтезу – органическому поглощению (99,9 %) [9]. В процессе фотосинтетической деятельности лесных фитоценозов происходит сток углерода в виде CO<sub>2</sub> из атмосферы [12]. Основную роль в поглощении углекислоты играют лесные массивы, которые, занимая 28 % площади суши, вырабатывают 66 % органического вещества на планете. Высокий коэффициент эффективности фотосинтеза (0,33 %) подтверждает ведущие позиции лесов в потреблении CO<sub>2</sub>. Лесные насаждения являются и основным накопителем биологически связанного углерода (в них содержится 2/3 всего атмосферного запаса углерода). Они выступают мощными стабилизаторами в круговороте углерода. В связи с этим изучению углерододепонирующей функции лесных массивов мировое научное сообщество уделяет огромное внимание. Большой шаг вперед может быть осуществлен в точности оценок запасов CO<sub>2</sub> путем формирования банка данных о запасах углерода в фитомассе лесных площадей. Некоторые исследователи [14] подчеркивают, что от продуктивности лесов, их состояния, породного состава, возрастной и товарной структуры в лесных экосистемах зависят запасы углерода и темпы его депонирования. Немаловажное значение имеют направленность и интенсивность лесопользования, уровень лесохозяйственного производства, охраны и защиты леса.

#### *Объекты и методы исследования*

В целях определения количества аккумулированного углерода различными фракциями надземной фитомассы в молодняках сосны и ели искусственного происхождения проведены исследования в северо-таежном районе европейской части России (Архангельская область). Опытные лесные культуры заложены в долгомошном типе условий местопроизрастания по пластам, сформированным плугом ПКЛ-70-1. Высаживали стандартные двухлетние сеянцы, посадку проводили вручную, под лопату. Первоначальная густота – 4000 шт./га.

В табл. 1 приведены показатели исследуемых опытных лесных культур сосны и ели.

Таблица 1

#### **Характеристика опытных лесных культур**

Возраст, лет	Высота, м	Диаметр, см	Количество, шт./га	Класс бонитета	Полнота	Запас, м <sup>3</sup> /га
<i>Сосна</i>						
24	8,7±0,12	13,2±0,14	2444	II	1,46	191
36	14,7±0,03	16,3±0,02	2080	II	0,78	214
<i>Ель</i>						
24	3,8±0,07	4,8±0,11	2524	IV	1,34	56
36	7,1±0,02	8,0±0,01	2508	III	1,31	75

При изучении фитомассы отбирали по 10 моделей каждой породы пропорционально представленности по ступеням толщины. Исследование запасов фитомассы и ее элементов проводили по окончании сезонного роста. После отбора и валки модельное дерево разделяли на фракции: ветви, древесная зелень (побеги с хвоей диаметром у основания до 0,8 см), кора ствола, древесина ствола, сухие сучья. Поочередно определяли массу каждой фракции взвешиванием. Для расчета фитомассы использовали регрессионный метод, за аргумент брали диаметр ствола на высоте 1,3 м.

В ходе вычислений количество сухого вещества в древесной зелени, ветвях, коре, древесине, сухих сучьях принимали в среднем равным соответственно 47, 49, 51, 52, 87 % [2–4]. Установлено, что в 1 кг абсолютно сухой массы коры, древесины, ветвей, сухих сучьев содержится 0,50 кг углерода, а в 1 кг абсолютно сухой массы древесной зелени – 0,45 кг [1, 6, 8].

#### *Результаты исследования и их обсуждение*

В табл. 2 сгруппированы сведения о накоплении углерода изучаемыми фракциями надземной фитомассы в сосновых и еловых искусственных молодняках разного возраста.

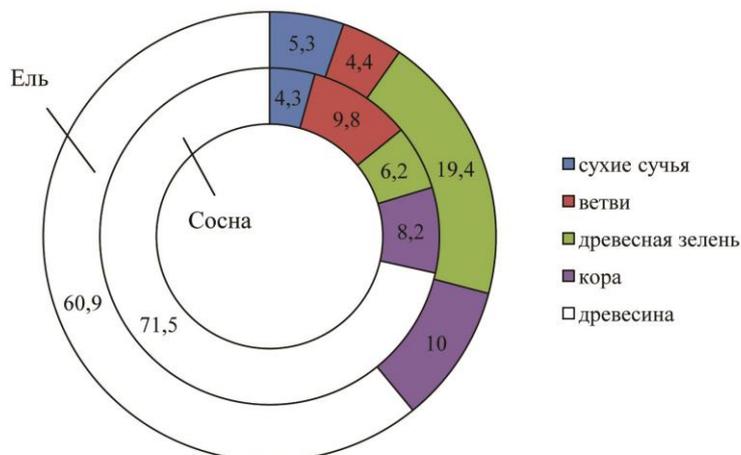
Таблица 2

#### **Накопление углерода (т/га) в опытных лесных культурах**

Возраст, лет	Депонированный углерод по фракциям надземной фитомассы					
	Сухие сучья	Ветви	Древесная зелень	Кора	Древесина	Всего
<i>Сосна</i>						
24	2,82	6,55	5,63	4,96	45,72	65,68
36	5,13	11,65	7,46	9,86	85,25	119,30
<i>Ель</i>						
24	1,50	1,06	10,20	1,76	12,63	27,15
36	1,61	1,30	5,85	3,00	18,32	30,08

К концу второго класса возраста сосновые культурфитоценозы аккумулируют углерод в 4 раза активнее (119,3 т/га), чем еловые (30,08 т/га). Запасы депонированного углерода с ростом растений независимо от породы во всех фракциях надземной фитомассы возрастают. Исключением является фракция древесной зелени в еловых насаждениях, где этот показатель сократился почти вдвое. На данный факт указывает М.А. Люминарская [10], которая, обследуя культуры ели сибирской в Красноярском крае в южной подзоне тайги, установила, что количество накопления CO<sub>2</sub> хвоей уменьшается по мере роста насаждений. Независимо от возраста максимальная доля аккумуляции углерода принадлежит фракции древесного ствола (43...71 %), минимальная – коре (7...11 %).

На рисунке показано распределение накопления углерода в культурфитоценозах сосны и ели (возраст 36 лет) по фракциям надземной фитомассы.



Структура углеродного пула, %, в культурах сосны и ели  
36-летнего возраста

Carbon pool structure in 36-years-old pine and spruce crops, %

Из рисунка видно, что в насаждениях сосны и ели наибольшая доля аккумуляции углерода приходится на фракцию стволовой древесины (60,9...71,5 %), на что обращают внимание многие авторы. Вторые позиции по доле депонирования углерода в культурах ели принадлежат фракции древесной зелени (19,4 %), в культурах сосны – ветвям (9,8 %). Минимальное количество накапливаемого углерода сосредоточено во фракциях сухих сучьев сосны (4,3 %) и ветвей ели (4,4 %).

М.А. Карасева [7] при проведении углерододепонирующей оценки лесных культур лиственницы сибирской в Среднем Поволжье пришла к выводу, что в надземной фитомассе лесных экосистем сконцентрированы большие запасы углерода. Она констатировала, что его значительная часть сосредоточена в древесине ствола и с возрастом запасы увеличиваются до 80 % от всей надземной фитомассы.

Ряд исследователей [8, 11, 15] в настоящее время отмечают, что в составе отдельных фракций биомассы хвойных древесных видов количество углерода находится в пределах 50,0...57,0 %, лиственных – 42,0...48,0 % от сухой массы.

К.С. Бобкова, В.В. Тужилкина [5], исследуя сосновые и еловые фитоценозы в средней подзоне тайги Республики Коми, пришли к выводу, что в различных фракциях фитомассы древесных растений количество углерода составляет 44,6...50,3 % от сухой массы.

Н.А. Бабич, Д.Н. Клевцов, И.В. Евдокимов [3] установили, что в посевах сосны, созданных в различных лесорастительных условиях, в любом возрасте максимальная доля накопления углерода сконцентрирована в древесном стволе (53,0...85,0 %). С возрастом количество углерода, депонированного этой фракцией надземной фитомассы в культурфитоценозах сосны, увеличивается. Минимальная доля накопления углерода в искусственных насаждениях любого возраста и лесорастительных условий составляет 1,0...5,0 % и приходится на сухие сучья.

### Заключение

На основании комплексных исследований сосновых и еловых культур северо-таежного района европейской части России установлено соотношение запасов углерода в изучаемых фракциях надземной фитомассы.

Полученные экспериментальные данные о содержании углерода в культурах фитомассы целесообразно использовать при формировании банка данных о запасах углерода в надземной фитомассе лесов, при оценке экологических функций лесных экосистем и организации эффективных мер по рациональному использованию лесных ресурсов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев В.А., Стаканов В.Д., Коротков И.А. и др. Углерод в экосистемах лесов и болот России / под ред. В.А. Алексеева, Р.А. Бердси. Красноярск: Ин-т леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 1994. 170 с.
2. Бабич Н.А. О точности учета надземной фитомассы культур сосны // Лесн. журн. 1989. № 1. С. 112–115. (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Бабич Н.А., Клевцов Д.Н., Евдокимов И.В. Зональные закономерности изменения фитомассы культур сосны: моногр. Архангельск: САФУ, 2010. 140 с.
4. Бабич Н.А., Мерзленко М.Д., Евдокимов И.В. Фитомасса культур сосны и ели в европейской части России. Архангельск, 2004. 112 с.
5. Бобкова К.С., Тужилкина В.В. Содержание углерода и калорийность органического вещества в лесных экосистемах Севера // Экология. 2001. № 1. С. 69–71.
6. Исаев, А.С., Коровин Г.Н., Уткин А.И., Пряжников А.А., Замолодчиков Д.Г. Оценка запасов и годичного депонирования углерода в фитомассе лесных экосистем России // Лесоведение. 1993. № 5. С. 3–10.
7. Карасева М.А. Лиственница сибирская в Среднем Поволжье: науч. изд. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2003. 376 с.
8. Кобак К.И. Биотические компоненты углеродного цикла: моногр. Л.: Гидрометеоиздат, 1988. 248 с.
9. Кондрашова Н.Ю. Роль лесов в углеродном цикле планеты // Роль науки в создании лесов будущего: тез. докл. на всесоюз. конф. молодых ученых, 5–7 мая 1981 г., Пушкино Моск. обл. Л.: ЛенНИИЛХ, 1981. С. 184.
10. Люминарская М.А. Особенности роста культур ели сибирской в южнотаежных и лесостепных районах Красноярского края: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Красноярск, 2007. 22 с.
11. Риссер П. Отходы сельского хозяйства и леса // Биомасса как источник энергии / под ред. С. Соуфера, О. Заборски. М.: Мир, 1985. С. 25–45.
12. Саковец В.И., Иванчиков А.А. Запасы и потоки углерода в лесах Карелии // Проблемы лесоведения и лесоводства: материалы Третьих Мелеховских чтений, посвященных 100-летию со дня рождения И.С. Мелехова (15–16 сент. 2005 г.). Архангельск, 2005. С. 14–16.
13. Углерод в лесных и болотных экосистемах особо охраняемых природных территорий Республики Коми / отв. ред. К.С. Бобкова, С.В. Загирова. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 2014. 202 с.
14. Усольцев В.А., Нагимов Н.Я. Методы таксации фитомассы деревьев и древостоев. Свердловск: УЛТИ, 1988. 44 с.
15. Vogt K. Carbon Budgets of Temperate Forests Ecosystems // Tree Physiology. 1991. Vol. 9, no. 1–2. Pp. 69–86.

Поступила 16.01.19

UDC 630\*232.411.11

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.159

**Comparative Carbon Pool Structure in Above-Ground Phytomass of Pine and Spruce Crops***N.R. Sungurova, Doctor of Agriculture, Assoc. Prof.*ResearcherID: [H-1847-2019](#), ORCID: [0000-0002-8464-4596](#)*V.V. Khudyakov, Candidate of Agriculture, Prof.; ORCID: [0000-0002-8782-7021](#)**S.E. Strazdauskas, Master; ORCID: [0000-0001-9407-9407](#)*Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: [n.sungurova@yandex.ru](mailto:n.sungurova@yandex.ru), [v.hudyakov@narfu.ru](mailto:v.hudyakov@narfu.ru)

Forests are the active stabilizers of the carbon cycle. Therefore, the global academic community pays a great attention to the study of carbon deposit function of forest lands. Progress in the accuracy of carbon stock estimates can be achieved through the creation of a database on carbon stocks in phytomass of forest areas. Periodic researches of Scots pine and Norway spruce crops are carried out in Arkhangelsk region in order to determine the accumulated carbon in different fractions of above-ground phytomass. It has been found that 36-years-old pine crops phytocenosis accumulate carbon 4 times more actively (119.3 t/ha) than spruce crops phytocenosis (30.08 t/ha). Deposited carbon stocks increase with plants growth, regardless of breed, in all above-ground phytomass fractions. The largest share of carbon accumulation was observed in the stem wood fraction both in pine and spruce plantations. The second largest carbon deposit fraction in spruce crops is leaves and branches; in pine crops – branches. The lowest share of carbon pool is concentrated in the fraction of pine dead branches (4.3 %), and spruce branches (4.4 %). A set of experimental data on carbon pool in forest crops will give a boost to the database formation of carbon stocks in the above-ground phytomass of forests; which must be considered in assessing the ecological functions of forests and organization of effective measures for the forest resources rational use.

**For citation:** Sungurova N.R., Khudyakov V.V., Strazdauskas S.E. Comparative Carbon Pool Structure in Above-Ground Phytomass of Pine and Spruce Crops. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2019, no. 3, pp. 159–165. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.159

**Keywords:** pine forest crops, spruce forest crops, above-ground phytomass, carbon pool, accumulation.

## REFERENCES

1. Alekseev V.A., Stakanov V.D., Korotkov I.A., et al. *Carbon in Ecosystems of Forests and Bogs of Russia*. Ed. by V.A. Alekseev, R.A. Berdsi. Krasnoyarsk, Sukachev Institute of Forest SB RAS Publ., 1994. 224 p.
2. Babich N.A. On the Accuracy of Pine Crops Above-Ground Phytomass Tally. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 1989, no. 1, pp. 112–115.
3. Babich N.A., Klevtsov D.N., Evdokimov I.V. *Zonal Patterns of Phytomass Change of Pine Crops*: Monography. Arkhangelsk, NArFU Publ., 2010. 140 p.
4. Babich N.I., Merzlenko N.I., Evdokimov I.V. *Phytomass of Pine and Spruce Crops in the European Part of Russia*. Arkhangelsk, SOLTI Publ., 2004. 112 p.
5. Bobkova K.S., Tuzhilkina V.V. Carbon Concentrations and Caloric Value of Organic Matter in Northern Forest Ecosystems. *Ekologiya* [Russian Journal of Ecology], 2001, no. 1, pp. 69–71.

6. Isaev A.S., Korovin G.N., Utkin A.I., Pryazhnikov A.A., Zamolodchikov D.G. Estimation of Carbon Pool and Its Annual Deposition in Phytomass of Forest Ecosystems of Russia. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 1993, no. 5, pp. 3–10.
7. Karaseva M.A. *Siberian Larch in the Middle Volga Region*: Scientific Publication. Yoshkar-Ola, MarSTU Publ., 2003. 376 p.
8. Kobak K.I. *Biotic Components of Carbon Cycle: Monography*. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1988. 248 p.
9. Kondrashova N.Yu. The Role of Forests in the Planet's Carbon Cycle. *The Role of Science in Creation the Forests of Future: Proc. of the All-Union Conf. of Young Scientists, May 5–7, 1981, Pushkino, Moscow region*. Leningrad, LenNIILKh Publ., 1981. 184 p.
10. Lyuminarskaya M.A. *Features of Siberian Spruce Crops Growth in Southern Taiga and Forest-Steppe Regions of Krasnoyarsk Krai*: Cand. Biol. Sci. Diss. Abs. Krasnoyarsk, 2007. 22 p.
11. Risser P.G. *Agricultural and Forestry Residues. Biomass Conversion Processes for Energy and Fuels*. Ed. by S.S. Sofer, O.R. Zaborsky. Moscow, Mir Publ., 1985. pp. 25–47.
12. Sakovets V.I., Ivanchikov A.A. Carbon Stocks and Flows in the Forests of Karelia. *Problems of Forest Science and Forestry: Proceedings of the III Melekhov Readings Dedicated to the 100th Anniversary of I.S. Melekhov, Arkhangelsk, September 15–16, 2005*. Arkhangelsk, 2005, pp. 14–16.
13. *Carbon in Forest and Wetland Ecosystems of Especially Protected Natural Territories of the Komi Republic*. Executive editors K.S. Bobkova, S.V. Zagirova. Syktyvkar, Komi NTS UrO RAN Publ., 2014. 202 p.
14. Usol'tsev V.A., Nagimov N.Ya. *Methods of Trees and Stands Phytomass Valuation*. Sverdlovsk, ULTI Publ., 1988. 44 p.
15. Vogt K. Carbon Budgets of Temperate Forest Ecosystems. *Tree Physiology*, 1991, vol. 9, no. 1–2, pp. 69–86.

Received on January 16, 2019

---



## КОНФЕРЕНЦИИ И СОВЕЩАНИЯ

УДК 630\*971

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.166

## НАВСТРЕЧУ XXV ВСЕМИРНОМУ КОНГРЕССУ ИЮФРО-2019

*В.С. Шалаев, д-р техн. наук, проф.**В.К. Тепляков, канд. с.-х. наук, проф.*

Институт системных исследований леса – Мытищинский филиал Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана, ул. 1-ая Институтская, д. 1, г. Мытищи-5, Московская обл., Россия, 141005; e-mail: shalaev@mgul.ac.ru, teplyakovv@gmail.com

С 29 сентября по 5 октября 2019 г. в г. Куритиба (Бразилия) пройдет XXV Всемирный конгресс Международного союза лесных исследовательских организаций (ИЮФРО). Ожидается, что в его работе примут участие более 3000 уже прошедших регистрацию представителей лесной академической, вузовской и отраслевой науки, лесного бизнеса и лесных государственных и негосударственных организаций, в то время как в первом конгрессе ИЮФРО в Вене приняли участие менее 20 человек, а в последнем, XXIV Всемирном конгрессе в Солт-Лейк-Сити, – около 2500 человек. Конгресс впервые пройдет в Южной Америке. Девиз Конгресса «Лесные исследования и сотрудничество для устойчивого развития» подчеркивает его обширную тематику и отражает пять основных направлений Стратегии ИЮФРО на 2015–2019 гг.: «Леса для людей»; «Леса и изменения климата»; «Леса и лесные продукты для “зеленого” будущего»; «Биоразнообразие, экосистемные услуги и биологические инвазии»; «Взаимодействие леса, почвы и воды». Кроме того, запланированы заседания в направлении «Сотрудничество, образование, сетевые взаимодействия, публикация». Для участников конгресса имеется уникальная возможность ознакомиться с лесным комплексом Бразилии и сопредельных стран. Работу Конгресс начинает с общих мероприятий, среди которых: церемония посадки деревьев; торжественная церемония открытия; приветственный прием для всех участников. Затем в соответствии с утвержденной программой пройдут: пленарные заседания, технические сессии, тематические дискуссии, лекции и презентации, стендовые сессии. В рамках Конгресса организованы профессиональные экскурсии – технические туры, проводятся тематические выставки продукции, технологий и услуг, необходимых и доступных для лесного сектора и лесных исследований. На Конгрессе будут вручены награды ИЮФРО по многим номинациям, в том числе за научные достижения, выдающие заслуги перед ИЮФРО, лучший стендовый доклад, а также призы для студентов. На предварительном этапе в оргкомитет Конгресса поступило более 4000 аннотаций – заявок на выступления. Ожидается, что участие представителей нашей страны в работе XXV Всемирного конгресса ИЮФРО будет соответствовать опубликованным ранее оценкам – на уровне предыдущих конгрессов.

**Для цитирования:** Шалаев В.С., Тепляков В.К. Навстречу XXV Всемирному конгрессу ИЮФРО-2019 // Лесн. журн. 2019. № 3. С. 166–171. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.166

**Благодарность:** Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России, проект № 37.8809.2017/8.9.

*Ключевые слова:* XXV Всемирный конгресс ИЮФРО, тематические направления, участие России.

С 29 сентября по 5 октября 2019 г. в г. Куритиба (Бразилия) пройдет XXV Всемирный конгресс Международного союза лесных исследовательских организаций (ИЮФРО) [4]. В мировом лесном сообществе ИЮФРО является одной из старейших и авторитетнейших международных организаций, связанных с изучением природных ресурсов, в первую очередь лесов, их развитием, охраной, воспроизводством и рациональным использованием. Основанный в 1892 г. ИЮФРО превратился в глобальную организацию, представляющую более 15 000 ученых и практиков, работающих в почти 600 членских организациях из более чем 126 стран мира [3, 5]. В настоящее время ИЮФРО является частью Совместного партнерства по лесам – группы, созданной при Форуме Организации Объединенных Наций по лесам и объединяющей 14 международных организаций, учреждений и секретариатов конвенций в рамках глобальной лесной повестки. Начиная с 1947 г., 15 организаций нашей страны стали членами ИЮФРО [6].

Ежегодно Международный союз проводит более 70 научно-технических совещаний и конференций по широкому спектру вопросов, каждые пять лет проходит Всемирный конгресс – главное лесное событие года. По мере необходимости Союз организует региональные конгрессы и крупные совещания и конференции всех девяти отделений ИЮФРО, которые по масштабам сопоставимы с глобальными конгрессами. Конгрессы являются междисциплинарными по научному содержанию и объединяют ученых, студентов, административных работников, практиков лесного хозяйства и лесной промышленности, других участников. При этом создается масса возможностей для дискуссий, связанных с приоритетными областями исследований, лесной политикой и управлением.

Участие в работе Конгресса – отличная возможность для обмена опытом и знаниями в области технологических инноваций, а также для того, чтобы быть в курсе последних результатов исследований и тенденций будущего лесного хозяйства и промышленности во всех регионах мира.

Следует отметить, что в работе первого конгресса ИЮФРО в Вене (Австрия, 1893 г.) приняли участие менее 20 человек, а в последнем, XXIV Всемирном конгрессе в Солт-Лейк-Сити (США, 2014 г.), – почти 2500 человек [3, 6]. XXV Всемирный конгресс ИЮФРО впервые будет проходить в Латинской Америке. В этом случае для участников Конгресса появляется уникальная возможность ознакомиться с лесным комплексом Бразилии и сопредельных стран.

Работу Конгресс начинает с общих мероприятий: церемонии посадки деревьев; торжественной церемонии открытия; приветственного приема для всех участников. Затем в соответствии с утвержденной программой пройдут пленарные заседания, на которых с ключевыми докладами выступают видные ученые, политические деятели, бизнесмены. Ежедневно проводятся технические сессии с тематическими дискуссиями, лекциями и презентациями, а также стендовые сессии, освещающие мировые исследования по лесной тематике.

Обычно в рамках работы Конгресса предлагаются профессиональные экскурсии – технические туры, включающие посещение различных объектов

лесного хозяйства, агролесоводства и лесопромышленного комплекса, а также знакомящие с культурой и бытом народов принимающей страны. Для представителей государственных и частных бизнес-структур организуются тематические выставки продукции, технологий и услуг, необходимых и доступных для лесного сектора и лесных исследований.

Завершается Конгресс торжественными церемониями вручения наград ИЮФРО по многим номинациям, в том числе и за научные достижения, выдающиеся заслуги перед ИЮФРО, лучший стендовый доклад, отдельных призов для студентов, а также заключительной сессией закрытия и прощальным ужином для участников. На данном предполагается вручение двум представителям России награды ИЮФРО «За выдающиеся заслуги» (Distinguished Service Award), которой до настоящего времени был удостоен лишь академик РАН, профессор Н.А. Моисеев.

XXV Всемирный конгресс принимает г. Куритиба, основанный в 1693 г. и ставший столицей штата Парана в 1854 г. «Куритиба» – слово из исчезнувшего в XVII–XVIII вв. языка нескольких коренных народов тупи-гуарани означает «сосновое место, сосновый бор, земля многих араукариев» (образовано от *kuri* – сосна (араукария), *tyba* – место с большим количеством чего-либо). Добавим, что сосна бразильская (*Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, 1898), имеющая форму канделябра, является символом штата Парана. Город Куритиба расположен на высоте 945 м над уровнем моря. В настоящее время в нем проживает около 2 млн жителей. Город считается экологической столицей благодаря программе утилизации отходов, ряду других программ устойчивого развития, насыщенной зеленой зоне. В нем около 102 км<sup>2</sup> зеленых насаждений, среди которых городские леса, парки, скверы и знаменитый ботанический сад. В 2016 г. на каждого жителя города приходилось 64 м<sup>2</sup> зеленых насаждений. Зеленые зоны разбросаны по всей территории города, многие простираются вдоль рек и долин.

Основная часть заседаний Конгресса пройдет на базе местного частного Университета Позитиво (Universidade Positivo). В организованном в 1988 г. филиале Университета Рио-Гранде было предложено несколько университетских программ. После двух десятилетий постоянного развития Министерство образования страны в 2008 г. присвоило филиалу официальный статус университета. Университет и технологический центр Позитиво насчитывает почти 21 600 студентов, 700 профессоров, общее количество сотрудников – 800.

Девиз Конгресса «Лесные исследования и сотрудничество для устойчивого развития» подчеркивает его обширную тематику и отражает пять основных направлений Стратегии ИЮФРО на 2015–2019 гг. [1, 3]: «Леса для людей»; «Леса и изменения климата»; «Леса и лесные продукты для “зеленого” будущего»; «Биоразнообразие, экосистемные услуги и биологические инвазии»; «Взаимодействие леса, почвы и воды».

**Леса для людей.** Заседания 36 секций Конгресса по этому направлению будут посвящены изучению взаимосвязей между благосостоянием людей и качеством жизни, связанным с экологическими, экономическими и социальными товарами и услугами, предоставляемыми лесами для городского и сельского населения. Будут рассмотрены такие проблемы, как роль политики, планирования и управления лесами, формальных и традиционных знаний, коммуникации, образования и обучения в поддержании, расширении, оценке и оптимизации получаемых людьми выгод от лесных экосистем и пользова-

ние лесными продуктами и услугами на местном, региональном уровнях и в более широких пространственных масштабах.

**Леса и изменения климата.** На 28 заседаниях этого направления будут рассмотрены: возможные последствия изменения климата для структуры и функционирования лесных экосистем; взаимодействие с другими природными воздействиями и режимами лесопользования; мониторинг и моделирование воздействия изменения климата на лесные экосистемы, ландшафты и сообщества; экологические, социальные и экономические последствия стратегий адаптации естественных и искусственных лесов к изменению климата и возможности смягчения последствий; лесоводственные и политические варианты управления естественными и искусственными лесами и их восстановления для улучшения сохранения углерода и использования экосистемных услуг; роль устойчивого производства и использования изделий на основе древесины в смягчении последствий изменения климата; вклад лесной генетики, восстановительной и ландшафтной экологии в смягчение последствий изменения климата и адаптацию к ним, включая стимулы и использование трансграничных схем торговли выбросами.

**Леса и лесные продукты для «зеленого» будущего.** Заседания 55 секций этого направления будут посвящены: изучению тенденций в спросе на традиционные, инновационные и экосистемные лесные товары и услуги; расширению использования древесины в строительстве; управлению конфликтующими потребностями заинтересованных сторон в лесном секторе; изменению общественных ценностей, институтов и структур управления лесами в различных социокультурных условиях и их роли в устойчивом управлении и использовании естественных и искусственных лесов в будущем. Это подразумевает разработку новых подходов к управлению лесами и новых методов обработки экологически и социально приемлемых продуктов и услуг; новые подходы к управлению ландшафтом; оценку выгод от пользования недревесными лесными продуктами и услугами экологических систем; развитие биоэнергетики и биоэкономики; совершенствование лесного образования, обучения и науки для удовлетворения будущих потребностей.

**Биоразнообразие, экосистемные услуги и биологические инвазии.** На 44 заседаниях этого направления будут рассмотрены многие из упомянутых вопросов, а также такие проблемы, как воздействие различных методов лесопользования на биоразнообразие на особо охраняемых территориях и их эффективность; общинное управление; ведение лесного хозяйства для возрастающего получения древесины и недревесных лесных продуктов, более тесной связи с системами агролесоводства; ландшафтные стратегии сохранения и восстановления биоразнообразия лесов; достижение баланса между сохранением биоразнообразия и устойчивым использованием лесных ресурсов.

**Взаимодействие леса, почвы и воды.** На 11 заседаниях будут детально проработаны такие вопросы, как потребление воды при лесовыращивании по сравнению с другими видами землепользования; региональный баланс леса и влаги; водопотребление лесных насаждений и лесных биоэнергетических систем; управление и институциональные механизмы, связанные с управлением лесными водосборами.

Кроме того, запланировано 8 заседаний направления «**Сотрудничество, образование, сетевые взаимодействия, публикация**», где планируется рассмотреть преподавание и обучение в лесном хозяйстве; взаимодействие науки

и образования для лучшего сохранения лесов; эффективные образовательные стратегии для следующего поколения лесных профессионалов; преподавание лесных наук в будущем в условиях возможного изменения экологических, социально-экономических и технологических обстоятельств; формирование культуры древесины и леса на пути к устойчивому будущему; оценку колониализма, охраны природы, истории как некоторых уроков для современного лесного хозяйства; медийное предоставление информации о лесных науках; потенциальные изменения в развитии наук о лесе.

На предварительном этапе в оргкомитет Конгресса поступило более 4000 аннотаций от более чем 3000 зарегистрировавшихся участников. Ранее [2] был представлен прогноз возможного участия представителей нашей страны в работе XXV Всемирного конгресса ИЮФРО. Поступающая на настоящем этапе информация подтверждает верность предшествующей оценки.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шалаев В.С. Научно-исследовательская работа. Конспект лекций: учеб. пособие. Ч. 1. М.: МГУЛ, 2016. 72 с.
2. Шалаев В.С., Тепляков В.К. Анализ участия отечественных представителей в съездах и конгрессах ИЮФРО // Лесн. журн. 2016. № 3. С. 9–20. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.3.9
3. International Union of Forest Research Organisations (IUFRO). Available at: [www.iufro.org](http://www.iufro.org) (accessed 13.02.19).
4. The XXV IUFRO World Congress: Forest Research and Cooperation for Sustainable Development, 2019. Available at: [iufro2019.com](http://iufro2019.com) (accessed 13.02.19).
5. Teplyakov V.K., Shalaev V.S. *History of IUFRO Congresses and Russia. In 2 vol. Vol. 1.* Moscow, MGUL Publ., 2015. 372 p.
6. Teplyakov V.K., Shalaev V.S. *History of IUFRO Congresses and Russia. In 2 vol. Vol. 2.* Moscow, MGUL Publ., 2015. 469 p.

Поступила 14.02.19

UDC 630\*971

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.166

#### Towards the XXV IUFRO World Congress

*V.S. Shalaev, Doctor of Engineering, Prof.*

*V.K. Teplyakov, Candidate of Agriculture, Prof.*

Institute of System Forest Research, Mytishchi Branch of Bauman Moscow State Technical University, ul. 1-aya Institutskaya, 1, Mytishchi-5, Moscow Region, 141005, Russian Federation; e-mail: [shalaev@mgul.ac.ru](mailto:shalaev@mgul.ac.ru), [teplyakovv@gmail.com](mailto:teplyakovv@gmail.com)

The XXV World Congress of the International Union of Forest Research Organizations (IUFRO) will take place in Curitiba (Brazil) from September 25 till October 5, 2019. More than 3000 representatives of forestry academic, university, and industry science, forest business, and forest state and non-governmental organizations are expected to participate in the Congress' work; while less than 20 people took part in the first IUFRO Congress in Vienna, and about 2500 people have participated in the XXIV IUFRO World Congress in Salt Lake City. This Congress will be held in South America for the first time ever. The Congress motto is "Forest Research and Cooperation for Sustainable Development" emphasizes the vast subject of the Congress and reflects the five main directions of the IUFRO Strategy for

2015–2019: Forests for People; Forests and Climate Change; Forests and Forest Products for a Greener Future; Biodiversity, Ecosystem Services and Biological Invasions; Forest, Soil and Water Interactions. In addition, some sessions are scheduled for the discussion on “Communications, Educating, Networking and Publishing”. There is a unique opportunity for the Congress participants to be acquainted with the forest complex of Brazil and neighboring countries. The Congress begins with the general events, including Tree Planting Ceremony, Congress Opening Ceremony, and Welcome Reception for all participants. Then, there will be plenary sessions, technical sessions, thematic discussions, lectures and presentations, and poster sessions as provided for by the approved Program. Within the framework of the Congress, professional excursions and technical tours are organized; thematic exhibitions of products, technologies and services necessary and available for the forest sector and research are held. At the Congress, IUFRO awards will be presented in many nominations, including the following: Scientific Achievement Awards, Distinguished Service Awards, IUFRO Best Poster Awards, as well as awards for students. At the preliminary stage, the Congress Organizing Committee has received more than 4000 applications for presentations. The participation of representatives of our country in the work of the XXV IUFRO World Congress is expected to be at the level of the previous congresses, and this corresponds to the estimates announced earlier.

**For citation:** Shalaev V.S., Teplyakov V.K. Towards the XXV IUFRO World Congress. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2019, no. 3, pp. 166–171. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.166

**Acknowledgements:** the research has been supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation, project no. 37.8809.2017/8.9

**Keywords:** XXV IUFRO World Congress, topic areas, Russian participation.

#### REFERENCES

1. Shalaev V.S. *Research Work. Compendium of Lectures: Educational Textbook*. Part 1. Moscow, MGUL Publ., 2016. 72 p.
2. Shalaev V.S., Teplyakov V.K. Analysis of the National Representatives' Participation in the IUFRO Conventions and Congresses. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2016, no. 3, pp. 9–20. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2016.3.9
3. *International Union of Forest Research Organisations (IUFRO)*. Available at: [www.iufro.org](http://www.iufro.org) (accessed 13.02.19).
4. *The XXV IUFRO World Congress: Forest Research and Cooperation for Sustainable Development, 2019*. Available at: [iufro2019.com](http://iufro2019.com) (accessed 13.02.19).
5. Teplyakov V.K., Shalaev V.S. *History of IUFRO Congresses and Russia. In 2 vol. Vol. 1*. Moscow, MGUL Publ., 2015. 372 p.
6. Teplyakov V.K., Shalaev V.S. *History of IUFRO Congresses and Russia. In 2 vol. Vol. 2*. Moscow, MGUL Publ., 2015. 469 p.

Received on February 14, 2019

---



## КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

УДК 630\*

**ВВЕДЕНИЕ В ЭКОЛОГИЮ ХВОЙНЫХ ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР\***

Экология стала ныне весьма модным брендом. Еще в 1911 г. корифей русской лесоводственной науки Георгий Федорович Морозов писал, что «...сколько бы не говорили против культур, этот метод создания леса не только сохранится навсегда, но и будет захватывать все большие и большие районы, и в прежних районах будет применяться все чаще и чаще». Время подтвердило правоту его слов. Искусственное лесовосстановление приобрело важную государственную значимость. Особо ценным и необходимым является воспроизводство хвойных древесных пород.

Несмотря на то, что по биоэкологическим особенностям древесных пород рукотворные леса имеют очень много общего с естественными, лесные культуры характеризуются четко выраженной спецификой, изначально заложенной человеком. Отрадно, что авторы взяли на себя столь ответственный, но вместе с тем и сложный труд освещения экологических особенностей лесных культур.

Книга состоит из шести глав. Подчеркивая значение экологии в искусственном лесовосстановлении, авторы начинают изложение материала с освещения вопросов отношения хвойных пород к основным экологическим факторам и постепенно переходят к особенностям искусственных дендроценозов. Такой подход полностью согласуется с лесоводственными координатами Г.Ф. Морозова, которые гласят, что природа леса складывается из условий местопроизрастания.

Излагая аутоэкологические аспекты хвойных культур, авторы старались представить их, прежде всего, на примерах насаждений искусственного происхождения. Рассмотрены особенности не только морфологии деревьев, но и анатомического строения древесины в зависимости от типа условий местопроизрастания и типа лесных культур. Основная часть книги отведена синэкологическим аспектам рукотворных лесов. Уделено самое серьезное внимание классическим вопросам лесокультурной науки, в частности фазам роста и развития лесных культур, оптимальной густоте посадки, особенностям чистых и смешанных лесных культур и др.

Значительный научный интерес представляет дифференциация древесных растений в лесных культурах. Она рассматривается как проявление эволюционного процесса, свойственного популяциям древесных пород, направлена на формирование жизнестойчивого (на протяжении различных фаз ро-

---

\*Под таким названием в издательстве Северного (Арктического) федерального университета им. М.В. Ломоносова вышла в свет монография, подготовленная М.Д. Мерзленко, Н.А. Бабичем, О.И. Гавриловой.

ста и развития) древесного сообщества и является средством его численной и качественной саморегуляции.

К положительной составляющей изложения материала относится то, что он основан на изучении лесных культур старших возрастов, базируется на многолетних наблюдениях с использованием статико-динамического (по Н.П. Кобранову) и стационарного методов. Это позволяет получать объективные данные. Так, по многим объектам, например по лесным культурам лесовода К.Ф. Тюрмера, наблюдения исчисляются десятилетиями.

В завершающей (шестой) главе сформулированы основные экологические принципы системы лесокультурного дела. В отличие от «чистых экологов» лесовод представляет собой по сути прикладного эколога – специалиста, обладающего как техническими, так и биологическими знаниями. Он, как справедливо утверждают авторы монографии, должен всегда помнить, что в комплексной системе любого лесохозяйственного мероприятия даже незначительное преувеличение роли технологической подсистемы без соответствующего ее согласования с биологической подсистемой на практике приводит к неудачам в создании и выживании лесокультур, снижению их качества.

Следует отметить чрезмерную перегруженность раздела 1.2. В нем вместо компилятивных сведений обзорного характера, по нашему мнению, можно было бы вспомнить учение академика В.И. Вернадского о ноосфере. Говоря же о лесной биоте, необходимо подчеркнуть, что в области экологии леса экологом № 1 является великий русский лесовод Г.Ф. Морозов. Достаточно обратиться к его труду «Учение о лесе» (1912 г., вып. 1: «Введение в биологию леса»). Позже лес рассматривался им как биоценоз (1917 г., «Труды Костромского научного общества»).

В целом рецензируемая книга – это значительный вклад не только в лесокультурную науку, но и в науку о лесе в целом. Думается, что данная монография заинтересует и специалистов биологического профиля.

*С.Н. Тарханов<sup>1</sup>, В.А. Харитонов<sup>2</sup>, А.Н. Пеккоев<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н.П. Лавёрова РАН

<sup>2</sup>Институт леса Карельского научного центра РАН

UDC 630\*

### **Introduction to the Ecology of Coniferous Forest Crops**

*S.N. Tarkhanov<sup>1</sup>, V.A. Kharitonov<sup>2</sup>, A.N. Pekkoev<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research

<sup>2</sup>Forest Research Institute of the Karelian Research Centre of the RAS