

ISSN 0536 – 1036

DOI:10.17238/issn0536-1036

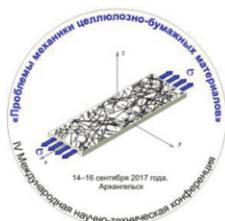
ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

Лесной журнал

Основан в 1833 г.

4/358

2017



IV Международная научно-техническая конференция, посвященная памяти профессора В.И. Комарова

«Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов»

(г. Архангельск, 14–16 сентября 2017 г.)

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, являющийся одним из базовых вузов, которые готовят специалистов для целлюлозно-бумажной отрасли, приглашает на IV Международную научно-техническую конференцию «Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов».

Партнеры университета в организации и проведении конференции: *Российский фонд фундаментальных исследований, Министерство образования и науки Архангельской области, Министерство природных ресурсов и лесопромышленного комплекса Архангельской области, АО «Архангельский ЦБК», АО «Группа «Илим», АО «Монди Сыктывкарский ЛПК», ООО «Управляющая компания «Объединенные бумажные фабрики», ООО «БКТ-Сервис», АО «Кемира Хим», ООО «Макорус», ООО «Андриц», ООО «Соленис Евразия».*

Формат конференции предусматривает проведение трех тематических дискуссионных сессий:

- ✓ *физические основы и методы оценки механического поведения целлюлозно-бумажных материалов;*
- ✓ *новые технологические решения для повышения механических свойств технической целлюлозы, бумаги и картона;*
- ✓ *перспективы развития ресурсосберегающих способов получения бумаги и картона из рециркулируемого сырья.*

В пленарном заседании и работе сессий выразили желание участвовать ведущие ученые и специалисты целлюлозно-бумажной промышленности России, Австрии, Беларуси, Германии, Сербии, Финляндии, Швеции.

Официальные языки конференции – русский, английский.

С подробной программой можно ознакомиться на официальном сайте конференции <http://paper2017.narfu.ru> или обратившись в оргкомитет по электронному адресу paper2017@narfu.ru

НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ
БИБЛИОТЕКА
eLIBRARY.RU

ИЗДАТЕЛЬСКИЙ
ДОМ
ЛАНЬ
www.e.lanbook.com
электронно-библиотечная система

НАУЧНАЯ
БИБЛИОТЕКА
СИБИРЬ

CYBERLENINKA

EBSCO

AGRIS

ULRICHSWEB™
GLOBAL SERIALS DIRECTORY

J-Gate



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

CASSI™
A CAS SOLUTION

ISSN 0536-1036

DOI: 10.17238/issn0536-1036

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

Лесной журнал

Научный рецензируемый журнал

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

4/358

2017

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

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

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

Бессчетнов В.П., д-р биол. наук, проф. (Россия, Нижний Новгород)
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)
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)
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., проф. (Норвегия, Стейнхьер)
Сигурдссон Б.Д., д-р наук, проф. (Исландия, Хваннейри)
Тараканов А.М., д-р с.-х. наук, гл. науч. сотр. (Россия, Архангельск)
Усольцев В.А., д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Екатеринбург)
Хабаров Ю.Г., д-р хим. наук, проф. (Россия, Архангельск)
Хакимова Ф.Х., д-р техн. наук, проф. (Россия, Пермь)
Холуша О., д-р наук, проф. (Чехия, Брно)
Черная Н.В., д-р техн. наук, проф. (Белоруссия, Минск)
Черных В.Л., д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Йошкар-Ола)
Ширнин Ю.А., д-р техн. наук, проф. (Россия, Йошкар-Ола)
Штукин С.С., д-р с.-х. наук, проф. (Белоруссия, Минск)
Энгельмани Х.-Д., д-р инж. наук, проф. (Германия, Эмден)

ISSN 0536-1036

DOI: 10.17238/issn0536-1036

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF THE RUSSIAN FEDERATION

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

BULLETIN
OF HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTIONS

Lesnoy Zhurnal

(Forestry journal)

Scientific peer-reviewed journal

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

4/358

2017

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

EDITORIAL STAFF:

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

MEMBERS OF THE EDITORIAL STAFF:

Besschetnov V.P., Doctor of Biology, Prof. (Russia, Nizhny Novgorod)
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)
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)
Malygin V.I., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Severodvinsk)
Matveeva R.N., Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Krasnoyarsk)
Merzlenko M.D., Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Moscow)
Moiseev N.A., Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Member of the Russian Academy of Sciences (Russia, Moscow)
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)
Usol'tsev V.A., Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Yekaterinburg)
Khabarov Yu.G., Doctor of Chemistry, Prof. (Russia, Arkhangelsk)
Khakimova F.Kh., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Perm)
Holuša O., PhD, Prof. (Czech Republic, Brno)
Chernaya N.V., Doctor of Engineering, Prof. (Belarus, Minsk)
Chernykh V.L., Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Yoshkar-Ola)
Shirnin Yu.A., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Yoshkar-Ola)
Shtukin S.S., Doctor of Agriculture, Prof. (Belarus, Minsk)
Engelmann H.-D., Doctor of Engineering, Prof. (Germany, Emden)



СОДЕРЖАНИЕ

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

<i>Л.В. Черных, Д.В. Черных, С.А. Денисов, В.Л. Черных.</i> Лесоводственно-статистический подход к назначению способов лесовосстановления при лесоустройстве.....	9
<i>О.И. Гаврилова, К.А. Пак, И.В. Морозова, А.Л. Юрьева.</i> Формирование искусственных сосновых древостоев в условиях карельской таежной зоны.....	23
<i>О.Н. Тюкавина, А.С. Ильинцев, Р.А. Еришов.</i> Влияние прореживаний на радиальный прирост сосны обыкновенной.....	34
<i>Б.П. Чураков, С.Г. Битяев, Р.А. Чураков.</i> К вопросу об естественном возобновлении леса в очагах корневой губки.....	45
<i>Н.Н. Бессчетнова, В.П. Бессчетнов, А.В. Кулькова, И.В. Мишукова.</i> Содержание крахмала в тканях побегов разных видов ели (<i>Picea A. Dietr.</i>) в условиях интродукции.....	57
<i>И.Д. Самсонова.</i> Медопродуктивность растительных формаций на землях лесного фонда степного Придонья.....	69
<i>М.В. Швец.</i> Бактериальная водянка березы повислой (<i>Betula pendula Roth.</i>) в Житомирском Полесье Украины.....	84

ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

<i>К.П. Рукомойников, Е.М. Царев, С.Е. Анисимов.</i> Обоснование среднего расстояния трелевки лесоматериалов при комплексном освоении лесных участков	95
<i>С.Н. Орловский, А.И. Карнаухов.</i> Методика расчета энергетических и динамических параметров агрегата для понижения пней и режимов резания его рабочего органа.....	106

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

<i>Ю.В. Максимук, Д.А. Пономарев, В.Н. Курсевич, В.В. Фесько.</i> Теплота сгорания древесного топлива.....	116
<i>С.П. Агеев.</i> Нормирование электропотребления транспортных устройств в деревообрабатывающей промышленности.....	130
<i>В.К. Любов, А.Н. Попов, Е.И. Попова, П.В. Малыгин, Л.М. Солнышкова.</i> Исследование эффективности сжигания древесного биотоплива в теплогенерирующей установке.....	149

ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

- К.А. Романенко, Н.И. Богданович, А.В. Канарский.* Получение активных углей
пиролизом гидролизного лигнина..... 162
- В.В. Абрамова, А.В. Гурьев.* Оценка равномерности формирования макроструктуры
офисной бумаги..... 172

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

- М.Г. Романовский, В.В. Коровин, Р.В. Щекалев.* Биодegradация гумуса..... 187

КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

- Р.С. Хамитов.* Новая книга «Геоботанические исследования в Европейской части России»..... 197



CONTENTS

FORESTRY

<i>L.V. Chernykh, D.V. Chernykh, S.A. Denisov, V.L. Chernykh.</i> Silvicultural and Statistical Approach to the Reforestation Methods Assignment in Forest Management.....	9
<i>O.I. Gavrilova, K.A. Pak, I.V. Morozova, A.L. Yur'eva.</i> Formation of Artificial Pine Stands in the Karelian Taiga Zone.....	23
<i>O.N. Tyukavina, A.S. Il'intsev, R.A. Ershov.</i> The Effect of Thinning on the Radial Increment of Scotch Pine.....	34
<i>B.P. Churakov, S.G. Bityaev, R.A. Churakov.</i> On Natural Reforestation in the Focus of Pine Fungus.....	45
<i>N.N. Besschetnova, V.P. Besschetnov, A.V. Kul'kova, I.V. Mishukova.</i> Starch Content in Shoot Tissues of Different Spruce Species (<i>Picea A. Dietr.</i>) in Introduction...	57
<i>I.D. Samsonova.</i> Melliferous Capacity of Plant Formations in Forest Area Lands of the Steppe Don Region.....	69
<i>M.V. Shvets.</i> Bacterial Dropsy of European White Birch (<i>Betula pendula</i> Roth.) in Zhytomyr Polesye of Ukraine.....	84

WOOD EXPLOITATION

<i>K.P. Rukomoynikov, E.M. Tsarev, S.E. Anisimov.</i> Substantiation of Average Distance of Skid Logging during Integrated Development of Forest Divisions.....	95
<i>S.N. Orlovskiy, A.I. Karnaukhov.</i> Calculation Methodology of Energy and Dynamic Parameters of the Stump Lowering Device and Cutting Conditions of Its Working Member.....	106

MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOOD SCIENCE

<i>Yu.V. Maksimuk, D.A. Ponomarev, V.N. Kursevich, V.V. Fes'ko.</i> Calorific Value of Wood Fuel	116
<i>S.P. Ageev.</i> Electrical Energy Rationing of Transport Units in the Woodworking Industry.....	130
<i>V.K. Lyubov, A.N. Popov, E.I. Popova, P.V. Malygin, L.M. Solnyshkova.</i> Wood-Based Biofuel Efficiency in the Heat Producing Installation.....	149

CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD

- K.A. Romanenko, N.I. Bogdanovich, A.V. Kanarskiy.* Obtaining of Activated Carbons by Pyrolysis of Hydrolytic Lignin..... 162
- V.V. Abramova, A.V. Gur'ev.* Evaluation of Macrostructure Forming Uniformity of Copy Paper..... 172

BRIEF COMMUNICATIONS AND SHARING OF EXPERIENCE

- M.G. Romanovskiy, V.V. Korovin, R.V. Shechekalev.* Humus Biodegradation..... 187

CRITIQUE AND BIBLIOGRAPHY

- R.S. Khamitov.* New Book "Geobotanical Survey in the European Part of Russia"..... 197
-
-



УДК 630*23

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.9

ЛЕСОВОДСТВЕННО-СТАТИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К НАЗНАЧЕНИЮ СПОСОБОВ ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРИ ЛЕСОУСТРОЙСТВЕ

Л.В. Черных, канд. с.-х. наук, зав. лаб.

Д.В. Черных, канд. с.-х. наук, ст. преп.

С.А. Денисов, д-р с.-х. наук, проф.

В.Л. Черных, д-р с.-х. наук, проф.

Поволжский государственный технологический университет, пл. Ленина, д. 3,
г. Йошкар-Ола, Республика Марий Эл, Россия, 424000; e-mail: sitlx@mail.ru

Назначение лесохозяйственных мероприятий в рамках лесного проектирования является важной задачей лесоустройства. К одной из основных проектируемых групп мероприятий относится и лесовосстановление. Цель исследования заключается в обобщении закономерностей естественного лесовосстановления в различных лесорастительных условиях для хвойно-широколиственных лесов Среднего Поволжья, разработке методики балльной оценки количественных и качественных характеристик подроста для объективного назначения способов лесовосстановления на таксационном выделе. Объектом исследования являлись лесные насаждения Республики Марий Эл. Исходными данными для проведения статистического анализа служили информация о 44 пробных площадях и база данных, состоящая из почти 50 тыс. единиц таксационных характеристик лесных насаждений. С использованием в среде STATISTICA модуля «Дерева классификации и регрессии» проведен кластерный анализ основных лесоводственных факторов, влияющих на наличие и густоту подроста. Разработаны интерполированные десятибалльные шкалы таксационных показателей для оценки перспективности способов лесовосстановления. Каждая шкала корректируется поправочным коэффициентом силы влияния этого фактора на появление подроста. По анализируемому таксационному выделу накапливается балльная оценка лесоводственных факторов. Исходя из суммы баллов, приведенных к 10-балльной шкале, все таксационные выделы лесного участка оцениваются по перспективности искусственного или естественного лесовосстановления. Разработанная методика лесоводственно-статистической оценки целесообразности способа лесовосстановления является объективным оценочным инструментом. Его использование представляется возможным как для небольшого лесного участка, так и для лесного района.

Ключевые слова: лесовосстановление, лесоводственные факторы, вероятность, кластерный анализ, «дерево решений», балльная оценка.

Для цитирования: Черных Л.В., Черных Д.В., Денисов С.А., Черных В.Л. Лесоводственно-статистический подход к назначению способов лесовосстановления при лесоустройстве // Лесн. журн. 2017. № 4. С. 9–22. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.9

Введение

Назначение лесохозяйственных мероприятий в рамках лесного проектирования – одна из основных задач лесоустройства, к которым относится и лесовосстановление [6, 8, 11]. В настоящее время накоплены значительные знания о лесовосстановительных процессах, сформированы большие массивы лесоустроительных данных о состоянии лесов и хозяйственной деятельности в них [4, 5, 12, 13]. Анализ этих материалов с использованием информационных технологий позволяет получать новые сведения для эффективного проектирования и управления лесами, в том числе и для обоснования соотношения объемов лесовосстановления разными способами. Следует особо отметить, что в лесных планах субъектов Российской Федерации (РФ), а также в проектах освоения лесов до сих пор соотношение естественного и искусственного лесовосстановления чаще всего устанавливается волюнтаристски. Причиной тому является отсутствие методики обоснования объемов лесовосстановления по способам на уровне регионов и отдельных хозяйств. Разработка такой методики для лесного хозяйства весьма актуальна.

Цель исследования – разработка методики назначения и обоснования способов лесовосстановления на подготовительном этапе полевой таксации и при разработке проектов освоения лесов, лесохозяйственных регламентов и лесных планов субъектов РФ.

Перед нами стояли следующие задачи:

выявить вес основных факторов, оказывающих влияние на успешность процесса естественного возобновления леса;

разработать методику назначения и обоснования соотношения способов лесовосстановления на этапе лесоустроительных работ.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования являлся процесс естественного возобновления леса (ЕВЛ) в хвойно-широколиственных лесах Среднего Поволжья. Исходными данными для проведения статистического анализа служили материалы о 44 пробных площадях и таксационные характеристики почти 50 тыс. выделов лесных насаждений Республики Марий Эл.

В качестве методической основы нами была предложена унифицированная модель принятия решений, в которой уровень влияния каждого фактора на успешность ЕВЛ представлен балльными оценками. Исходя из многочисленных исследований отечественных и зарубежных лесоводов [1, 5, 7, 15, 16], нами использовались следующие факторы: тип леса, тип лесорастительных условий, состав древостоя, относительная полнота, класс бонитета, густота подлеска и др. Уровень их влияния на вероятность появления подростка с наилучшими количественными и качественными характеристиками определялся многофакторным дисперсионным анализом. Влияние указанных факторов на густоту подростка рассматривалось отдельно по двум возрастным категориям: «леса всех возрастов» и «спелые + перестойные леса».

Для предсказания степени влияния таксационных показателей насаждений на наличие и густоту подроста использован модуль «Деревья классификации и регрессии» в среде STATISTICA [3] и алгоритмы классификации [14, 17].

Расчет и анализ основных статистических показателей (среднее арифметическое значение, дисперсия, среднеквадратическое отклонение, квартили, доверительные интервалы) балльной оценки лесоводственных факторов произведены по общепринятым формулам [10].

Результаты исследования и их обсуждение

В матрицу исходных данных для расчетов вошла выборочная совокупность объемом 49 633 ед. наблюдений. Результаты расчетов приведены в табл. 1–3.

Таблица 1

**Многофакторный дисперсионный анализ густоты подроста
в различных типах леса, лесорастительных условиях,
при разных продуктивности и составе древостоя**

Источник варьирования	Дисперсия	Число степеней свободы, ед.	Средний квадрат (ms)	F	p
Класс бонитета	299,54	7	42,79	39,42	0,0001
Тип леса	980,87	24	40,87	37,65	0,0001
Тип лесорастительных условий	184,65	14	13,19	12,15	0,0001
Коэффициент состава	188,21	9	20,91	19,27	0,0001
Случайная ошибка	53 825,53	49 586	1,09	–	–

Таблица 2

**Многофакторный дисперсионный анализ зависимости густоты подроста
от древесной породы и возраста древостоя**

Источник варьирования	Дисперсия	Число степеней свободы, ед.	Средний квадрат (ms)	F	p
Древесная порода	692,06	8	86,51	90,65	0,0001
Возраст древостоя	10 244,55	88	116,41	121,99	0,0001
Случайная ошибка	47 280,84	49 547	0,95	–	–

Таблица 3

**Многофакторный дисперсионный анализ зависимости густоты подроста
от группы полноты древостоя и густоты подлеска**

Источник варьирования	Дисперсия	Число степеней свободы, ед.	Средний квадрат (ms)	F	p
Полнота древостоя	1,62	1	1,62	10,24	0,0001
Густота подлеска	3,39	3	1,13	7,13	0,0001
Случайная ошибка	356,07	2 249	0,16	–	–

Оказалось, что фактические значения критериев Фишера F_{ϕ} для всех анализируемых факторов больше табличных на уровне значимости $p = 0,0001$.

Абсолютные значения критерия Фишера показывают, что на густоту подроста самое значительное влияние оказывают древесная порода и возраст древостоя элемента леса.

Фрагмент работы алгоритма «Деревья классификации и регрессии» приведен на рис. 1, из которого видно, что на первом шаге выявляется влияние возраста основного элемента леса на подрост, при этом совокупность делится на две части по возрасту 83,5 лет.

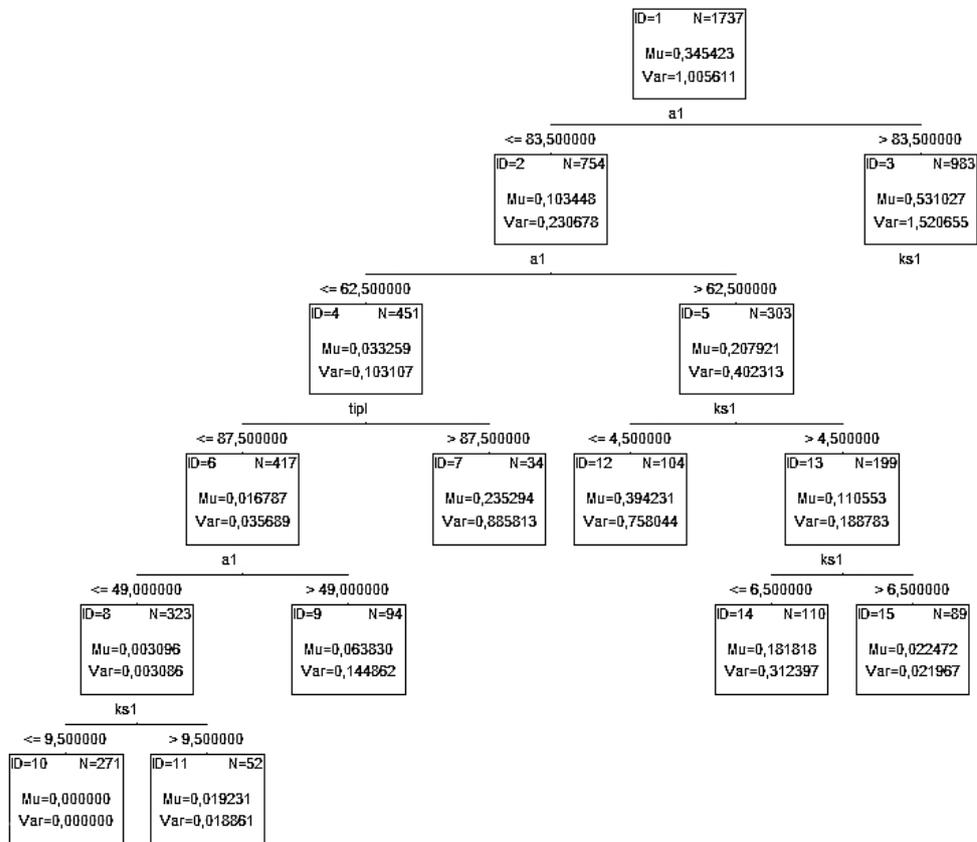


Рис. 1. Пример построения «деревя решений» о густоте подроста по 11 переменным (фрагмент): ID – номер узла дерева; N – число наблюдений анализируемой однородной совокупности; Mu – среднее значение густоты подроста; Var – дисперсия густоты подроста

Далее совокупность, имеющая возраст менее 83,5 лет, подлежит делению по возрасту 62,5 года и формирует в этом узле две совокупности с влиянием на подрост коэффициента состава и типа лесонасаждений.

«Дерево решений» считается построенным, когда все ветви деления невозможно разделить на потомки. По окончании построения рассчитывается относительная величина степени (силы) влияния каждого исследуемого фактора на наличие и густоту подроста.

В табл. 4 и на рис. 2 представлены результаты вычислений по алгоритму «Деревья классификации и регрессии», которые отображают степень влияния конкретного фактора на количество и густоту подроста в хвойных насаждениях.

Таблица 4

Влияние таксационных показателей на наличие и густоту подроста хвойных древесных пород (по материалам массовой таксации пробных площадей (ПП))

Переменная (сокращенное обозначение)	Степень влияния, %
Экспозиция (<i>rumb</i>), ед.	8
Уклон местности (<i>krut</i>), ...°	14
Класс бонитета (<i>bon</i>), ед.	75
Коэффициент состава (<i>ks</i>), ед.	43
Возраст (<i>AI</i>), лет	29
Полнота (<i>pol</i>), ед.	17
Густота подлеска (<i>npdl</i>)	59
Тип леса (<i>tl</i>)	100
Тип лесорастительных условий (<i>tilu</i>)	94
Древесная порода (<i>por</i>)	15

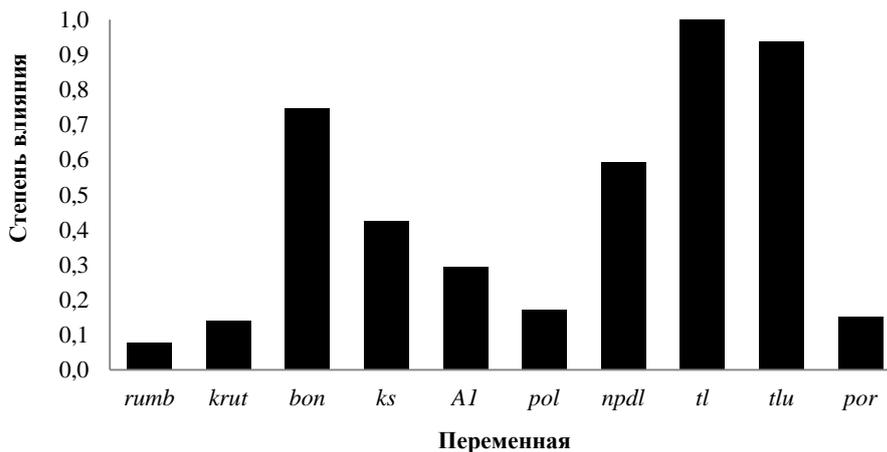


Рис. 2. Степень влияния (в относительных единицах) таксационных показателей на наличие и густоту подроста в хвойных насаждениях (по материалам массовой таксации ПП)

Максимальное значение (1,0) свидетельствует о сильном влиянии, минимальное (0,139) – о слабом. Отметим, что результаты вычислений по материалам пробных площадей и массовой таксации лесных насаждений получены для разного числа наблюдений, но выявляют одинаковые факторы, влияющие на подрост: тип леса, тип лесорастительных условий и класс бонитета.

Степень воздействия факторов на появление подростка в хвойных и мелколиственных насаждениях дифференцирована из-за различной продолжительности жизненного цикла и оборота рубки. В мелколиственных лесах возраст играет большую роль, чем в хвойных. За одинаковый промежуток времени изменение состояния подростка в мелколиственных лесах происходит интенсивней за счет порослевой регенерации и более богатых условий произрастания.

Полнота древостоя яруса в мелколиственных лесах менее важна, потому что в таких насаждениях подрост формируется преимущественно из теневыносливых пород, а богатство почв в известной степени компенсирует недостаток освещенности (принцип компенсации экологических факторов). Густота подлеска, как и относительная полнота, обусловлены условиями освещенности и конкуренцией за свет.

Тип лесорастительных условий и класс бонитета имеют различное влияние на состояние подростка в хвойных и лиственных насаждениях. Статистический анализ подтверждает, что тип леса – единственный фактор, который стабильно сохраняет свое прямое влияние на характеристики подростка под пологом.

Сила влияния коэффициента состава древостоев на густоту подростка изменяется от 0,42 в хвойных насаждениях до 0,33 в мелколиственных насаждениях.

По нашим данным, такие факторы, как рельеф, экспозиция и крутизна склонов, в хвойно-широколиственных лесах Среднего Поволжья имеют незначительное влияние на появление подростка (8,0...14,0 %).

Можно утверждать, что характеристика подростка на том или ином участке на 91,4 % зависит от перечисленных выше факторов.

Вопрос об учете факторов (всех значимых количественных и качественных показателей), влияющих на характеристику подростка, предлагаем оценивать в баллах по единой шкале путем линейной интерполяции от оптимумов произрастания насаждений до лимитирующего уровня их значений [2]. Уровень влияния каждого фактора оценивали по 10-балльной шкале с корректировкой степени его влияния, которую определяли по алгоритму «Деревья классификации и регрессии» в пределах от 0 до 1,0.

Преимущество многофакторной балльной оценки состоит в индивидуальном подходе к конкретным лесным районам, отличающимся уровнем ведения лесного хозяйства. Для выявления степени влияния основных факторов на характеристику подростка в лесорастительных зонах необходим статистический анализ больших объемов данных по алгоритму «Деревья классификации и регрессии», содержащих характеристики лесных насаждений.

Таблица 5

Шкалы балльной оценки таксационных показателей деревьев по вероятности успешного лесовосстановления

Группа влажности	Нормативы для оценки лесовосстановления по количеству подроста, тыс. шт. [9]										
	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Сухие	≥8,0	6,0...8,0	4,5...6,0	4,0...4,5	3,5...4,0	3,0...3,5	2,5...3,0	2,0...2,5	1,5...2,0	1,0...1,5	<1,0
	≥4,0	3,0...4,0	2,5...3,0	2,2...2,5	1,9...2,2	1,5...1,9	1,2...1,5	1,0...1,2	0,7...1,0	0,5...0,7	<0,5
	≥3,0	2,0...3,0	1,5...2,0	1,3...1,5	1,1...1,3	1,0...1,1	0,8...1,0	0,7...0,8	0,6...0,7	0,5...0,6	<0,5
Сухие	≥8,0	7,0...8,0	6,0...7,0	5,5...6,0	4,7...5,5	4,0...4,7	3,5...4,0	3,0...3,5	2,5...3,0	2,0...2,5	<2,0
	≥7,0	6,0...7,0	4,5...6,0	4,0...4,5	3,5...4,0	3,0...3,5	2,5...3,0	2,0...2,5	1,5...2,0	1,0...1,5	<1,0
	≥4,0	3,5...4,0	3,0...3,5	2,6...3,0	2,3...2,6	2,0...2,3	1,7...2,0	1,5...1,7	1,3...1,5	1,0...1,3	<1,0
Относительная полнота	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
Балл	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10

Балльная оценка перспективности назначения способа лесовосстановления

Выполненный статистический анализ экспериментального материала и накопленные знания о процессах лесовосстановления позволили разработать нормативы 10-балльной оценки эффективности лесовосстановления по следующим факторам: густота подроста в соответствии с правилами лесовосстановления; относительная полнота; возраст, коэффициент состава; тип лесорастительных условий; тип леса, класс бонитета; густота подлеска, рельеф, древесная порода (табл. 5, 6).

На первом этапе по каждому фактору в отдельности были обозначены лучшие и худшие условия для создания искусственных насаждений. Промежуточные условия влияния факторов интерполированы между их максимальными и минимальными значениями в баллах. Вектор увеличения баллов по каждому фактору направлен на улучшение условий для ЕВЛ, что позволяет детерминировать оценку для всей совокупности таксационных выделов на лесном участке.

На следующем этапе баллы каждой шкалы умножаются на поправочный коэффициент влияния этого фактора на характеристику подроста по хозяйствам. Поправочный коэффициент – это степень влияния фактора, выраженная в процентах (табл. 4) или в относительных величинах (рис. 2), которые были получены при кластерном и регрессионном анализе исследуемой совокупности по таксационным показателям.

Такие шкалы по лесоводственным факторам могут разрабатываться для хвойного, мелколиственного и твердолиственного хозяйств и по лесорастительным зонам.

Таблица 6

Шкалы балльной оценки типов лесорастительных условий и классов бонитета по вероятности успешного лесовосстановления

Оценка типов лесорастительных условий по вероятности успешного лесовосстановления, балл				
Гигротоп	Трофотоп*			
	A	B	C	D
0	3	3	4	4
1	1	1	2	2
2	0	0	0	0
3	1	0	0	0
4	10	10	10	10
5	10	10	10	10

Оценка классов бонитета древостоев по вероятности успешного лесовосстановления

Класс бонитета	1A	1	2	3	4	5	5A
Балл	0	0	2	4	8	10	10

*Использована классификация П.С. Погребняка.

Распределение баллов по оценке потенциального способа лесовосстановления объекта проектирования подчиняется нормальному закону распределения случайной величины.

Основной результат использования на практике предложенного подхода к назначению способа лесовосстановления заключается в том, что по каждому таксационному выделу накапливается балльная оценка влияния лесоводственных факторов на характеристику подроста.

Для формализации назначения способа лесовосстановления на таксационном выделе нами разработана следующая методика.

1. Выбирается объект проектирования лесовосстановления и определяется лесорастительная зона.

2. Устанавливаются управляющие факторы, влияющие на процессы лесовосстановления.

3. Проводится статистический анализ по алгоритму «Деревья классификации и регрессии» для определения силы влияния «независимых» факторов на наличие и количество подроста в объекте проектирования.

4. Создается база данных лесоустроительной информации для объекта проектирования.

5. Для независимых факторов влияния на ЕВЛ устанавливаются 10-балльные шкалы оценки целесообразности способа лесовосстановления (табл. 6).

6. По установленным шкалам для каждого таксационного выдела по независимым переменным определяются баллы оценки целесообразности способа лесовосстановления в последовательности, указанной в табл. 7.

Таблица 7

**Расчет баллов при оценке целесообразности способа лесовосстановления
на таксационном выделе**

№ ПП	Индекс j	«Независимая» переменная (k -фактор)	Расчет баллов*
1	1	Густота подроста	$k_{j(j=1)} = f(Npdr, tlu, por)$
2	2	Относительная полнота	$k_{j(j=2)} = f(pol, por)$
3	3	Коэффициент состава	$k_{j(j=3)} = f(ks, por)$
4	4	Тип лесорастительных условий	$k_{j(j=4)} = f(tlu, por)$
5	5	Класс бонитета	$k_{j(j=5)} = f(bon, por)$
6	6	Тип леса	$k_{j(j=6)} = f(Apdr, A, Vlk, por)$
7	7	Транспортная доступность	$k_{j(j=7)} = f(l)$
8	8	Класс возраста древостоя	$k_{j(j=8)} = f(A, por)$
9	9	Густота подлеска	$k_{j(j=9)} = f(npdl, por)$
10	10	Экспозиция рельефа местности	$k_{j(j=10)} = f(rumb, por)$

*Обозначения приведены в табл. 4.

7. Вычисляется матрица баллов по всем факторам для проектируемого объекта:

$$a_{ij} = k_j, \quad j = 1, 2, 3, \dots, 10,$$

где a_{ij} – значение влияния j фактора (от 1 до 10) с присвоением значения переменной k_j , балл;

i – номер таксационного выдела, $i = 1, 2, 3, \dots, n$;

n – общее число таксационных выделов, шт.

8. Определяется сумма баллов по всем факторам:

$$ball_i = \sum_{j=1}^{10} a_{ij}.$$

9. Рассчитывается общая приведенная оценка целесообразности способа лесовосстановления по 10-балльной шкале:

$$SRball_i = \frac{ball \cdot 10}{\max \cdot ball_i},$$

где $\max \cdot ball$ – максимальный балл в рассматриваемой совокупности.

10. Вычисляются основные статистические показатели для приведенной оценки лесовосстановления ($SRball_i$): среднее значение, дисперсия, среднеквадратическое отклонение, доверительные интервалы.

11. Рассчитываются граничные значения баллов по оценке целесообразности способа лесовосстановления с использованием квантили с вероятностью $p = 0,25$.

12. Устанавливается верхняя граница значения балла для назначения искусственного лесовосстановления:

$$BLK \leq \bar{X} - t_{0,25}\delta,$$

где \bar{X} – среднее значение балла лесовосстановления для рассматриваемой совокупности, балл;

$t_{0,25}$ – значение квантили с вероятностью 0,25, ед.;

δ – среднеквадратическое отклонение.

13. Устанавливается нижняя граница значения балла для назначения естественного лесовосстановления:

$$ELVS \geq \bar{X} + t_{0,25}\delta.$$

14. Устанавливаются границы комбинированного и естественного лесовосстановления (*KBLVS*):

$$BLK < KBLVS < ELVS.$$

Дополнительными условиями в этом диапазоне для назначения конкретного способа лесовосстановления могут являться:

естественное лесовосстановление путем минерализации почвы при условии, что имеются участки с типом лесорастительных условий A_1 , A_2 , B_2 и оценка подроста по количеству получила 0, 1 или 2 балла;

комбинированное лесовосстановление при условии, что характеристика подроста имеет 0, 1 или 2 балла, а также характеристика производительности насаждения (класс бонитета первый и выше) имеет 0 баллов.

15. Установленная оценка целесообразности способа лесовосстановления записывается в повыведельную базу данных исследуемого объекта.

16. На основании потенциального способа лесовосстановления таксационного выдела на лесном участке в эксплуатационных лесах формируются хозяйства по способу рубки: сплошнолесосечное, выборочное.

16.1. Сплошнолесосечное хозяйство состоит из совокупности выделов с потенциальным мероприятием искусственного или комбинированного лесовосстановления. В сплошнолесосечное хозяйство включаются эксплуатационные участки леса с потенциальным естественным лесовосстановлением сырых и заболоченных гиротопов, а также лесотаксационные выделы, где обеспечено нормативно-достаточное количество предварительной генерации хвойных или твердолиственных пород. Все сырые и заболоченные гиротопы опасны при проведении постепенных и выборочных рубок, последствия этих рубок – ветровалы.

16.2. Выборочное хозяйство составляется из оставшихся спелых и перестойных лесотаксационных выделов эксплуатационных и защитных лесов, где нормативно возможна заготовка древесины. Рубки в них планируются исходя из выполняемой роли защитных лесов: добровольно-выборочные или постепенные.

17. Формируются полевые карточки таксации с указанием потенциальных способов лесовосстановления и формы хозяйства по способу рубки; ведомости лесотаксационных выделов по установленным оценкам целесообразности способов лесовосстановления.

Выводы

1. Множественный дисперсионный анализ с высокой вероятностью подтвердил значительное влияние главных рассмотренных факторов на возобновление леса. По методу «Деревья классификации и регрессии» выявлена сила влияния «независимых» переменных на густоту подроста, что позволило ранжировать учетные факторы и разработать нормативы 10-балльной оценки потенциальной эффективности лесовосстановления.

2. Разработанная методика лесоводственно-статистического обоснования способов лесовосстановления позволяет автоматизировать их назначение при подготовительных этапах лесоустройства и отказаться от принятия субъективных решений при проектировании объемов работ по способам лесовосстановления на всех уровнях – от отдельного хозяйства до уровня субъекта Федерации.

3. Методику лесоводственно-статистического обоснования способа лесовосстановления предлагается использовать как объективный оценочный инструмент при лесовосстановлении, а также как основание для формирования хозяйств по способу рубок в объектах лесохозяйственного проектирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабич Н.А., Корчагов С.А., Конюшатов О.А., Стребков Н.Н., Лупанова И.Н. Актуальные проблемы лесовосстановления на Европейском Севере России в рамках перехода к интенсивной модели ведения лесного хозяйства // Лесн. журн. 2013. № 2. С. 74–83. (Изв. высш. учеб. заведений).
2. Бескровный И.М. Анализ альтернатив и выбор диагностических гипотез. Ч. II. Модели выбора альтернатив при множественности и неопределенности критериев // Современные наукоемкие технологии. 2012. № 2. С. 33–40.
3. Боровиков В.П. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере. СПб.: Питер, 2011. 656 с.
4. Воробьев Г.И., Мухамедшин К.Д., Девяткин Л.М. Лесное хозяйство мира. М.: Лесн. пром-сть, 1984. 352 с.
5. Избранные труды Г.Ф. Морозова. М.: МГУЛ, 2004. 168 с.
6. Лесной кодекс Российской Федерации. Комментарии. М.: ВНИИЛМ, 2007. 856 с.
7. Листов А.А. Мероприятия по ускоренному лесовозобновлению в сосняках лишайниковых Европейского Северо-Востока СССР. Архангельск: СевНИИЛХ, 1982. 40 с.
8. Об утверждении лесоустроительной инструкции: приказ МПР России от 12.12.2011 № 516. М., 2011. 25 с. URL: <http://www.rosleshoz.gov.ru/docs/leshoz/208> (дата обращения: 03.05.17).
9. Правила лесовосстановления: утв. Приказом МПР России от 16.07.2007 № 183. М., 2007. 28 с.
10. Соколов П.А., Черных В.Л. Вариационная статистика: учеб. пособие. Йошкар-Ола: МарПИ, 1990. 104 с.
11. Сухих В.И., Черных В.Л. Лесоустройство: учеб. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2014. 400 с.

12. Токарчук С.М. Выбор и обоснование показателей оценки природного разнообразия территории // Весн. Брэсцкага ўн-та. Сер. 5. Хімія. Біялогія. Навукі аб зямлі. 2014. № 1. С. 102–110.

13. Хлюстов В.К. Комплексная оценка и управление древесными ресурсами: модели-нормативы-технологии. Кн. 1. М.: РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2015. 289 с.

14. Leskovec J., Rajaraman A., Ullman J.D. Mining of Massive Datasets. Cambridge, 2014. 511 p.

15. Stanturf J.A., Madsen P., eds. Restoration of Boreal and Temperate Forests. USA, Boca Raton, 2004. 600 p. Print ISBN: 978-1-56670-635-3. eBook ISBN: 978-0-203-49778-4.

16. Sustainable Forest Management in Canada. URL: <http://www.canadianembassy.org/trade/sustainable-en.pdf> (дата обращения 20.04.2012).

17. Zaki M.J., Meira W.Jr. Data Mining and Analysis: Fundamental Concepts and Algorithms. Cambridge, 2014. 593 p.

Поступила 15.02.17

UDC 630*23

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.9

Silvicultural and Statistical Approach to the Reforestation Methods Assignment in Forest Management

L.V. Chernykh, Candidate of Agricultural Sciences, Head of Laboratory

D.V. Chernykh, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Lecturer

S.A. Denisov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

V.L. Chernykh, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

Volga State University of Technology, pl. Lenina, 3, Yoshkar-Ola, 424000, Mari El Republic, Russian Federation; e-mail: sitlx@mail.ru

Agricultural activities in the framework of the forest design is one of the main objectives of forest management. Reforestation is one of the basic projected groups of activities. The goal of research is to generalize the regularities of natural reforestation in various forest sites for mixed coniferous-broad leaved forests of the Middle Volga region, to develop a numerical score methodology of the undergrowth quantitative and qualitative characteristics for the objective assignment of reforestation methods in a survey plot. The object of the research is the forest plantations of the Mari El Republic. The initial data for the statistical analysis is the information of 44 sample plots and a database consisting of almost 50 thousand units of taxation characteristics of forest plantations. Using the module “Trees of Classification and Regression” in the STATISTICA environment, we have carried out a cluster analysis of the main silvicultural factors affecting the presence and density of undergrowth. Interpolated ten-point scales of taxation indicators are developed to assess the prospects of reforestation methods. Each scale is corrected by a correction factor of the power of influence of this

For citation: Chernykh L.V., Chernykh D.V., Denisov S.A., Chernykh V.L. Silvicultural and Statistical Approach to the Reforestation Methods Assignment in Forest Management. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 4, pp. 9–22. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.9

factor on the appearance of undergrowth. According to the analyzed survey plot, a score of silvicultural factors is accumulated. Based on the sum of the scores given to the 10-point scale, all survey plots of the forest area are assessed according to the prospects of artificial or natural reforestation. The developed method of silvicultural and statistical determination of the feasibility assessment of the reforestation method is an objective evaluation tool. Its use is possible for both a small forest plot and a forest area.

Keywords: reforestation, silvicultural factor, probability, cluster analysis, decision tree, numerical score.

REFERENCES

1. Babich N.A., Korzhagov S.A., Konyushatov O.A., Strebkov N.N., Lupanova I.N. Aktual'nye problemy lesovosstanovleniya na Evropeyskom Severe Rossii v ramkakh perekhoda k intensivnoy modeli vedeniya lesnogo khozyaystva [Topical Issues of Reforestation in the European North of Russia in the Context of Switching to the Intensive Model of Forest Management]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2013, no. 2, pp. 74–83.
2. Beskrovnyy I.M. Analiz al'ternativ i vybor diagnosticheskikh gipotez. Ch. II. Modeli vybora al'ternativ pri mnozhestvennosti i neopredelennosti kriteriev [Analysis of Alternatives and Choice of Diagnostic Hypotheses. Part II. Models of a Choice of Alternatives at Plurality and Uncertainty of Criteria]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii* [Modern high technologies], 2012, no. 2, pp. 33–40.
3. Borovikov V.P. *STATISTICA. Iskusstvo analiza dannykh na komp'yutere* [STATISTICA. The Art of Computer Data Analysis]. Saint Petersburg, 2011. 656 p.
4. Vorob'ev G.I., Mukhamedshin K.D., Devyatkin L.M. *Lesnoe khozyaystvo mira* [Forestry in the World]. Moscow, 1984. 352 p.
5. *Izbrannye trudy G.F. Morozova* [G.F. Morozov's Selectas]. Moscow, 2004. 168 p.
6. *Lesnoy kodeks Rossiyskoy Federatsii. Kommentarii* [Forest Code of the Russian Federation. Comments]. Moscow, 2007. 856 p.
7. Listov A.A. *Meropriyatiya po uskorennomu lesovozobnovleniyu v sosnyakakh lishaynikovyykh Evropeyskogo Severo-Vostoka SSSR* [Measures for Accelerated Reforestation in Lichen Pine Forests of the European Northeast of the USSR]. Arkhangelsk, 1982. 40 p.
8. *Ob utverzhdenii lesoustroitel'noy instruktsii: prikaz MPR Rossii ot 12.12.2011 № 516* [On the Approval of Forest Management Instructions: the Order from the Ministry of Natural Resources of Russia of 12 December 2011, No. 516]. Moscow, 2011. 25 p. Available at: <http://www.rosleshoz.gov.ru/docs/leshoz/208> (accessed 03.05.17).
9. *Pravila lesovosstanovleniya: utv. Prikazom MPR Rossii ot 16.07.2007 № 183* [Rules of Reforestation: Approved by the Order from the Ministry of Natural Resources of Russia of 16 July 2007, No. 183]. Moscow, 2007. 28 p.
10. Sokolov P.A., Chernykh V.L. *Variatsionnaya statistika: ucheb. posobie* [Variation Statistics]. Yoshkar-Ola, 1990. 104 p.
11. Sukhikh V.I., Chernykh V.L. *Lesoustroystvo: ucheb.* [Forest Management]. Yoshkar-Ola, 2014. 400 p.
12. Tokarchuk S.M. *Vybor i obosnovanie pokazateley otsenki prirodnogo raznoobraziya territorii* [Selection and Substantiation Indicators Assessment of Natural

Diversity Territory]. *Vesnik Brestskaga ūn-ta. Ser. 5. Khimiya. Biyalogiya. Navuki ab zyamli* [Vesnik of Brest University. Series 5. Chemistry. Biology. Sciences about Earth], 2014, no. 1, pp. 102–110.

13. Khlyustov V.K. *Kompleksnaya otsenka i upravlenie drevesnymi resursami: modeli-normativy-tehnologii. Kn. 1* [Integrated Assessment and Management of Wood Resources: Models-Normatives-Technologies. Book 1]. Moscow, 2015. 289 p.

14. Leskovec J., Rajaraman A., Ullman J.D. *Mining of Massive Datasets*. Cambridge, 2014. 511 p.

15. Stanturf J.A., Madsen P., eds. *Restoration of Boreal and Temperate Forests*. USA, Boca Raton, 2004. 600 p. Print ISBN: 978-1-56670-635-3. eBook ISBN: 978-0-203-49778-4.

16. *Sustainable Forest Management in Canada*. Available at: <http://www.canadianembassy.org/trade/sustainable-en.pdf> (accessed 20.04.2012).

17. Zaki M.J., Meira W.Jr. *Data Mining and Analysis: Fundamental Concepts and Algorithms*. Cambridge, UK, 2014. 593 p.

Received on February 15, 2017

УДК 630*232.42

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.23

ФОРМИРОВАНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ В УСЛОВИЯХ КАРЕЛЬСКОЙ ТАЕЖНОЙ ЗОНЫ

О.И. Гаврилова¹, д-р с.-х. наук, проф.

К.А. Пак², спец. отдела проектов и программ

И.В. Морозова¹, канд. с.-х. наук, доц.

А.Л. Юрьева¹, канд. с.-х. наук, доц.

¹Петрозаводский государственный университет, пр. Ленина, д. 33, г. Петрозаводск, Россия, 185910; e-mail: ogavril@mail.ru, miv@petsu.ru, a_yureva@mail.ru

²Кареллеспроект – Карельский филиал ФГБУ «Рослесинфорг», ул. Дзержинского, д. 9, г. Петрозаводск, Россия, 185035; e-mail: mao-zin@yandex.ru

В работе рассматриваются особенности роста лесных культур сосны, созданных посадочным материалом из брикетированных семян по механически обработанной почве вырубок и без обработки. Опытные культуры были заложены в рамках международного проекта «Тайга – модельный лес» сотрудниками Петрозаводского государственного университета и Института леса Карельского научного центра Российской академии наук. Культуры были созданы на старой заросшей вырубке сосняка брусничного свежего по подзолистым иллювиально-железистым супесчаным почвам, подстилаемым мореной. Каменность почвы высокая. Опытные культуры закладывали однолетними брикетированными сеянцами, стандартными двухлетними сеянцами с открытой корневой системой, также исследовали культуры, созданные посевом. На экспериментальных участках в течение 14 лет изучали приживаемость, сохранность, высоту ствола, диаметр ствола, текущий прирост по высоте, развитие корневых систем. Максимальные значения показателей (приживаемость на первый год – 100 %, сохранность на 14-й год – 82 %, средняя высота насаждений – 5,24 см, средний диаметр ствола – 8,0 см) отмечены для культур из брикетированных семян, созданных по обработанной почве. Раскопки корневых систем лесных культур показали, что у высаженных в неподготовленную почву растений практически отсутствовал явно выраженный стержневой корень, имелось более слабое развитие корней всех порядков. На основании 14-летних наблюдений за ростом культур сосны и анализа полученных результатов были сделаны выводы о более высоких показателях роста культур из этого вида посадочного материала и о необходимости проведения обязательной подготовки почвы при создании культур из брикетированных семян в условиях зеленомошных типов условий местопроизрастания. Посевы сосны после рубки брусничников позже начинали активный рост, но догоняли по показателям роста культуры из стандартного посадочного материала.

Ключевые слова: сеянцы, посевы, посадка, сосна, брикетированный посадочный материал, корневая система, рубка, Республика Карелия.

Для цитирования: Гаврилова О.И., Пак К.А., Морозова И.В., Юрьева А.Л. Формирование искусственных сосновых древостоев в условиях карельской таежной зоны // Лесн. журн. 2017. № 4. С. 23–33. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.23

Введение

Интенсивная вырубка лесов на территории Республики Карелия, приводящая часто к нежелательной смене породного состава и росту периода возобновления хозяйственно ценных хвойных пород, предполагает проведение лесокультурных мероприятий. В практике лесовосстановления наблюдается тенденция снижения площадей посадки с увеличением площадей посевов. На относительно богатых почвах в карельском таежном районе таежной зоны Российской Федерации (приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 18.08.2014 № 367 с изменениями от 23.12.2014 № 569) часто отмечаются заглошение посевов, восстановление на площади вырубок менее ценных лиственных пород. Несоблюдение требований к выкопке, транспортировке и хранению посадочного материала приводит к гибели лесных культур. В связи с этим возникает потребность в создании новых прогрессивных технологий выращивания посадочного материала, что отражено в ряде отечественных [1–19] и зарубежных [20, 21] публикаций. Большое значение при лесовосстановлении отводится качеству посадочного материала и степени обработки почвы.

В Республике Карелия существуют 4 технологические линии по выращиванию посадочного материала с закрытой корневой системой (ПМЗК). Для качественного и с соблюдением сроков воспроизводства лесных ресурсов в республике в год необходимо выращивать около 25 млн стандартных сеянцев. Для этой цели имеются 9 лесных питомников общей площадью 305,9 га, а также 4 тепличных комплекса площадью 1,5 га для выращивания брикетированных сеянцев. Ранее здесь выращивалось до 6 млн брикетированных сеянцев в год. На ряде предприятий процент приживаемости и сохранность лесных культур повысились на 10...15 %. Имеющиеся лесные питомники и тепличные комплексы обеспечивают потребность в посадочном материале.

В связи с высокой каменистостью почвы Карелии и невозможностью использовать стандартную технику появились публикации о перспективах создания лесных культур на неподготовленной почве.

В данной работе рассмотрен опыт создания лесных культур на 10-летней вырубке с механической обработкой почвы покровосдирателем ПДН-1 и без обработки.

Материалы и методы исследования

Объекты лесных культур были созданы на старой заросшей вырубке (1991 г.) сосняка брусничного свежего III класса бонитета (по подзолистым иллювиально-железистым супесчаным почвам, подстилаемым мореной) на территории Пряжинского центрального лесничества Республики Карелия (61°45' с.ш., 33°46' в.д.). Культуры были заложены в рамках международного проекта «Тайга – модельный лес» сотрудниками Института леса Карельского научного центра РАН и Петрозаводского государственного университета. Тип вырубки – вейниково-луговиковый [2], рельеф – слабохолмистый, степень

задернения – сильная. Состав напочвенного покрова на изучаемой площади по степени встречаемости: вейник лесной, или тростниковидный (*Calamagrostis arundinacea*) – 31 %; луговик извилистый (*Deschampsia flexuosa*) – 20 %; брусника (*Vaccinium vitis-idaea*) – 19 %; иван-чай (*Chamaenerion angustifolium*) – 7 %; ожика волосистая (*Luzula pilosa*), дудник лесной (*Angelica silvestris*), золотая розга (*Solidago virgaurea*), омалотека лесная (*Gnaphalium silvaticum*), черника (*Vaccinium myrtillosum*), вереск обыкновенный (*Calluna vulgaris*) – единично; сфагновые мхи (*Spagnum*) – в понижениях; кукушкин лен (*Polytrichum commune*) – на уплотненной почве. Естественное возобновление (7580 шт./га) было представлено в основном листовыми породами: 56 % березы, 6 % ольхи серой, 5 % осины. Подлесок: 20 % ивы, 3 % рябины. На сосну приходилось 4, на ель – 6 % общего количества. Средняя высота сосны составляла (0,5±0,07) м, ели – (0,4±0,06) м, березы порослевого происхождения – (1,7±0,11) м, березы семенной – (0,9±0,05) м, осины, ивы, ольхи, рябины – 1,0 м. На участке проходила смена породного состава и вытеснение хвойных пород, в основном сосны.

Обработку почвы выполняли весной 1999 г. с помощью покровосдирателя ПДН-1. Посадку сеянцев и посев семян осуществляли в этот же период. Минерализованные полосы проводили через 3...4 м. Исследуемые варианты закладывали в трехкратной повторности площадью по 0,5 га.

Изучали лесные культуры сосны, заложенные разными способами (вариантами):

посадки 1-летних тепличных брикетированных сеянцев с закрытой корневой системой (ЗКС) с обработкой почвы ПДН-1; ширина борозд – 0,5 м, густота посадки – 3 тыс. шт./га;

посадки 1-летних тепличных брикетированных сеянцев (ЗКС) без обработки почвы; культуры создавали рядами через 3 м под посадочную трубу «Поттипутки», густота – 2 тыс. шт./га;

посевы семенами местного происхождения по обработанной почве, число посевных мест – 2,9 тыс. шт./га; посевы подготовленными семенами (намачивание в 0,5 %-м растворе марганцевокислого калия ($KMnO_4$) в течение 2 ч, в снеговой воде – 24 ч) вручную на площадках размером 20×20 см по 20 шт. в посевное место;

посадки 2-летних сеянцев сосны с открытой корневой системой (ОКС), выращенных в открытом грунте лесного питомника; шаг посадки – 1 м, по почве, обработанной ПДН-1 (контроль), густота посадки – 3 тыс. шт./га.

В связи с рекомендациями по лесовосстановлению не рассматривалось создание культур посевами и сеянцами открытого грунта без обработки почвы.

На 14-й год после создания культур описывали напочвенный покров и почвенные горизонты, проводили сплошной пересчет растений, измеряли высоту, диаметр на уровне груди, диаметр крон. Изучали корневую систему, делали фотографии корней, измеряли прирост по высоте каждого года, выкапывали средние по таксационным показателям модельные деревья, по 3 на каждом варианте.

Результаты исследования и их обсуждение

Приживаемость на первом году после создания культур для посевов и посадок ПМЗК по обработанной почве составила 100 %, для посадок ПМЗК по необработанной почве вырубков – 68...72 %, для посадок сеянцами с ОКС – 82 % (см. таблицу).

Сохранность и приживаемость культур сосны при разных вариантах посадки

Вариант	Прижи- ваемость в 1999 г.	Сохранность, % от прижившихся в 1999 г., по годам роста								
		2000	2001	2002	2003	2004	2006	2008	2011	2013
Посевы	100	100	98	96	96	96	93	93	85	82
ОКС	82	99	97	96	96	96	96	84	76	73
ПМЗК: с обработкой почвы	100	95	94	94	94	94	93	86	85	82
без обработки почвы (рядо- вая ручная посадка под посадочную трубу)	68	97	89	85	85	82	82	80	65	52

Самая высокая сохранность (в процентах от прижившихся в 1999 г.) по годам роста установлена для посевов и посадок ПМЗК по обработанной почве, посадки по необработанной почве имели минимальную приживаемость. Сохранность посевов к 14-му году с момента посадки составляла 82 %, посадок ОКС и ПМЗК – 73 и 82 %, культур ПМЗК по необработанной почве – 52...59 %.

Высота посадочного материала ПМЗК была в среднем ($8,5 \pm 0,14$) см (колебания от 7,2 до 10,8 см), высота посадочного материала ОКС – ($7,6 \pm 0,09$) см (колебания 5,8...9,2 см). В возрасте 6 лет разные варианты существенно отличались по высоте. Максимальная высота ($2,06 \pm 0,35$) м была отмечена в 2006 г. у варианта ПМЗК по обработанной почве, у посадок, созданных из сеянцев с ОКС, – ($1,91 \pm 0,28$) м, для культур, созданных по необработанной почве вырубки, – ($1,29 \pm 0,19$) м (рис. 1).

Диаметр на уровне корневой шейки культур сосны в 2006 г. для посадок ПМЗК составил ($5,0 \pm 0,04$) см, для ОКС – ($4,8 \pm 0,05$) см, для посевов – ($2,3 \pm 0,02$) см, для посадок без обработки почвы – ($2,7 \pm 0,02$) см.

Средняя высота культур, созданных посевом, на 14-й год составила ($4,12 \pm 0,81$) м, для культур из сеянцев ПМЗК – ($5,24 \pm 0,67$) м, для посадок из сеянцев ОКС – ($4,21 \pm 0,64$) м, для посадок по необработанной почве – ($4,18 \pm 0,51$) м. Точность определения среднего – 7...10 % при сильной изменчивости (коэффициент вариации более 45 %).

Текущий прирост по высоте по годам для 10 модельных средних деревьев по каждому варианту оказался максимальным в возрасте 12...13 лет.

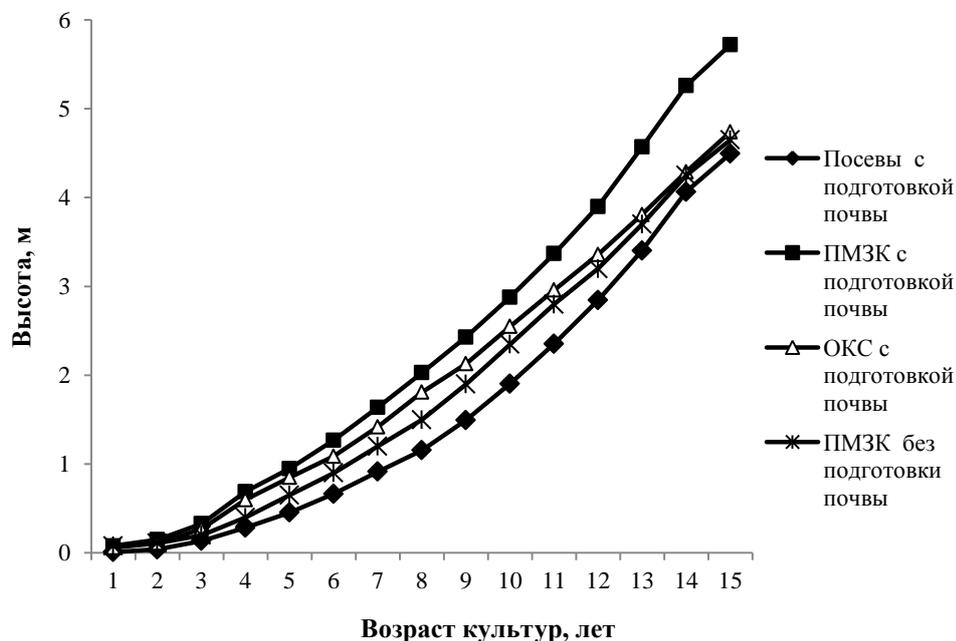


Рис. 1. Средняя высота культур сосны, созданных из разного посадочного материала по обработанной и необработанной почве вырубке

На 2-3-й год после создания культур максимальные средние значения приростов отмечены у культур из брикетированных семян. Эта же тенденция сохранялась на протяжении всего периода роста. Прирост по высоте посевов имел стойкую тенденцию к увеличению и, начиная с 10-го года роста, превышал этот показатель для посадок из семян с ОКС. Минимальные значения текущих приростов имели культуры сосны, созданные по неподготовленной почве (рис. 2.).

Средние диаметры соответственно для культур из посевов семян составляли $(6,7 \pm 0,8)$ см, для семян ПМЗК – $(8,0 \pm 0,8)$ см, для культур с ОКС, созданных по обработанной почве, – $(7,7 \pm 0,7)$ см, для посадок ПМЗК по необработанной почве – $(4,3 \pm 0,51)$ см.

К 14-му году роста распределение деревьев по ступеням толщины для варианта без подготовки почвы имело явно выраженную левостороннюю асимметрию, что свидетельствует о преобладании в структуре древостоя деревьев минимальных размеров и, соответственно, о большой конкуренции и высоком отпаде (рис. 3). Это характерно для молодняков при естественном лесовосстановлении. Для вариантов лесных культур, созданных по подготовленной почве, левосторонняя асимметрия распределения числа деревьев по ступеням толщины менее выражена и приближается к кривой нормального распределения.

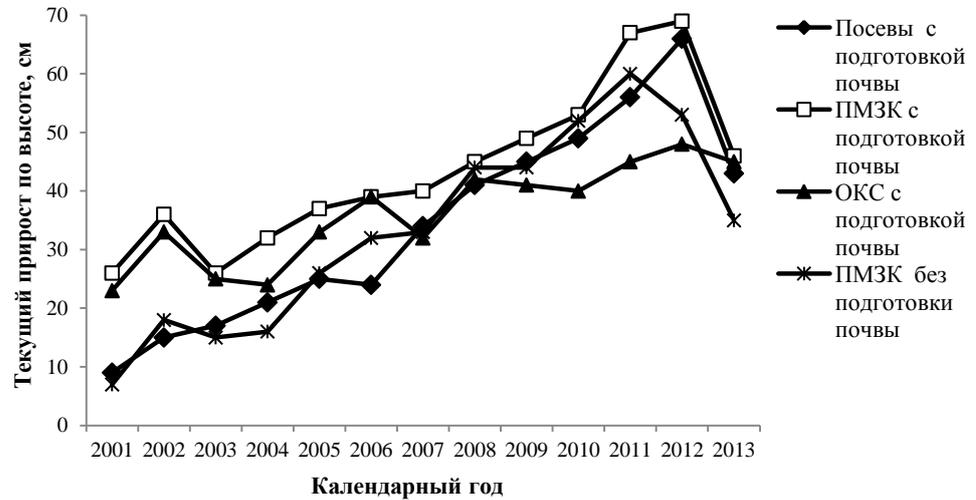


Рис. 2. Текущий прирост по высоте культур сосны, созданных из разного посадочного материала по обработанной и необработанной почве вырубке

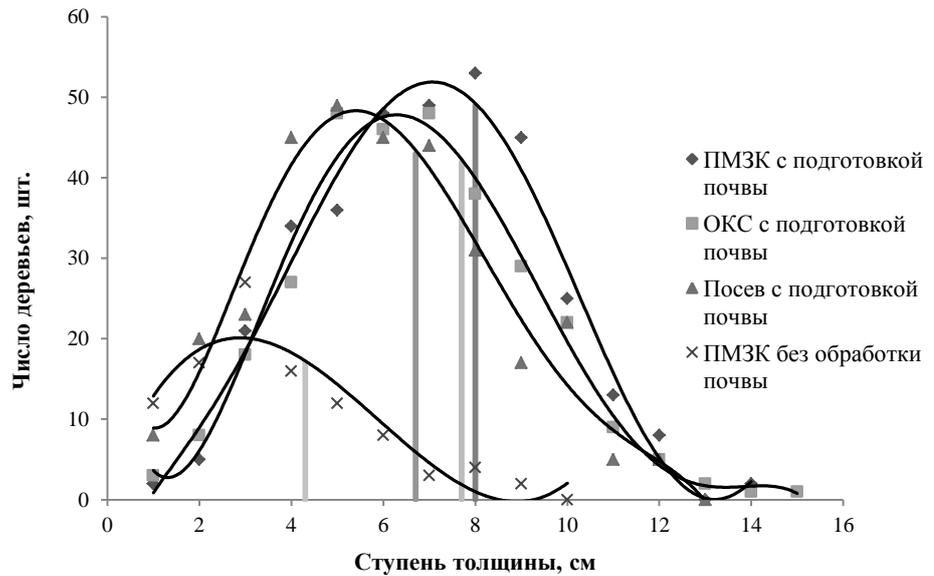


Рис. 3. Распределение деревьев сосны 14-летнего возраста по ступеням толщины для разных вариантов закладки

Сопоставление строения корневых систем посевов и сосны в культурах, созданных посадочным материалом с ЗКС, выявило значительные различия между ними. У посевов и сеянцев с ОКС боковые корни первого порядка, составляющие вместе со стержневым основу корневой системы, направлены в разные стороны и являются дереву надежной опорой.

Создание культур по супесчаным почвам проводилось в достаточно плотное дно борозды, из-за чего наблюдались слабое развитие главного корня и изменение направления роста боковых корней первого порядка к поверхности почвы. У культур, созданных из ПМЗК, после посадки корни первого порядка сначала растут в длину и по диаметру ниже изгиба, который обусловлен влиянием стенок контейнера. По мере роста в толщину изогнутых боковых и главного корней отмечено их постепенное срастание между собой. Наличие «клубка» корней – обычное явление в культурах, заложенных контейнеризированными сеянцами сосны [5, 7, 8]. Особенно это проявилось у лесных культур, выращиваемых без подготовки почвы. У сосны идет формирование новой, вторичной корневой системы, которая, в отличие от ели, формируется из боковых корней второго и следующих порядков, появившихся как до, так и после высадки растений. Новая корневая система имеет неестественное, асимметричное строение. По мере вращивания основания корней в древесину главного корня роль боковых корней в обеспечении механической устойчивости дерева существенно возрастает.

Наиболее значимым условием развития у сосен главного корня является достаточная дренированность почв. Установлено, что на развитие главного корня и корневой системы в целом влияет обработка почвы. В варианте без подготовки почвы главный корень фактически отсутствует: он направлен под прямым углом в сторону. В целом боковые корни менее протяженные, чем у растений, высаженных в обработанную почву.

Корневые системы у посевов и культур, созданных сеянцами ОКС, имеют хорошо развитую систему боковых корней всех порядков, однако главный корень выражен слабо. Культуры, созданные брикетированными сеянцами по обработанной почве, у корневой шейки имеют клубок из сросшихся между собой корней. У растений этого варианта просматриваются как стержневой корень, так и хорошо развитая система корней всех порядков. У сеянцев, высаженных в неподготовленную почву, выражен клубок из корней у основания стволика, стержневой корень под углом отходит в сторону, система боковых корней выражена слабо. По мнению ряда авторов, подобная корневая система может развиться и при подтоплении грунтовыми водами, увеличении плотности почвы или из-за бедности нижележащего почвенного горизонта.

Заключение

Как показали результаты исследования, на рост лесных культур существенное влияние оказывает не только вид посадочного материала, но и обработка почвы. Несмотря на то, что тип условий произрастания, тип почвы, уровень грунтовых вод для всех участков исследования были приблизительно одинаковыми, культуры сосны, выращенные по подготовленной ПДН-1 почве, имели более развитую корневую систему, лучшие высоту, сохранность и другие показатели.

Корни (главный корень, боковые корни первых порядков) посевов сосны после 14 лет роста были развиты соразмерно. Для культур, созданных посадкой стандартных сеянцев с ОКС, к 14-му году роста также отмечено равномерное развитие вертикальных и горизонтальных корневых структур. Для корневых систем растений, созданных из ПМЗК, на 14-й год роста корни с явно выраженной вертикальной направленностью наблюдались редко, хорошее развитие имели только корни первых порядков, главный корень часто отсутствовал. У корневых систем растений, высаженных в неподготовленную почву, практически полностью отсутствовал главный корень.

На основании проведенных исследований был сделан вывод о необходимости обязательной подготовки почвы при создании культур из ПМЗК в группе зеленомошных типов условий местопроизрастания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаврилова О.И., Леонтьева Э.А. О соотношении средних высот культур сосны и примеси березы на вырубках Карелии // Уч. зап. Петрозавод. гос. ун-та. Серия: Естеств. и техн. науки. 2011. № 4(117). С. 64–66.
2. Жигунов А.В. Теория и практика выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой. СПб.: СПбНИИЛХ, 2000. 294 с.
3. Жигунов А.В., Козлова Т.И. О хемотропизме корневых систем при создании лесных культур саженцами «Брикет» // Роль науки в создании лесов будущего. Л.: ЛенНИИЛХ, 1981. С. 77.
4. Извекова И.М. Особенности развития корневой системы сосны в культурах, созданных сеянцами с закрытой корневой системой // Технология создания и экономические аспекты выращивания лесных культур. СПб.: СПбНИИЛХ, 1992. С. 139–143.
5. Колстрем Т., Лейнонен Т. Модельный лес «Тайга» // Модельные леса в России: Опыт и перспективы будущего: материалы междунар. семинара, Петрозаводск, июнь 1999 г. Йоэнсуу: Университет Йоэнсуу, 1999. С. 123–134.
6. Маслаков Е.Л., Мелешин П.И., Извекова И.М., Белостоцкий Н.Н., Иванов Ф.Е., Михайцев Ф.И., Белостоцкая С.Х., Гомельский Ю.Н., Жигунов А.В. Посадочный материал с закрытой корневой системой. М.: Лесн. пром-сть, 1981. 143 с.
7. Морозова И.В., Гаврилова О.И. Закономерности роста лесных культур сосны в течение первых пяти лет после посева семян и посадки сеянцев на вырубках южной Карелии // Уч. зап. Петрозавод. гос. ун-та. Серия: Естеств. и техн. науки. 2011. № 2(115). С. 49–51.
8. Набатов Н.М. Динамика живого напочвенного покрова и его влияние на рост культур сосны // Ботан. журн. 1964. Т. 49, № 5. С. 669–677.
9. Набатов Н.М. Этапы формирования соснового леса после сплошных рубок и лесовосстановления // Динамическая типология леса. М.: Агропромиздат, 1989. С. 144–156.
10. Хлюстов В.К., Гаврилова О.И., Морозова И.В. Лесные культуры Карелии (Этапы раннего возраста): моногр. М.: РГАУ–МСХА им. К.А.Тимирязева, 2007. 223 с.
11. Хлюстов В.К., Гаврилова О.И., Морозова И.В. Рост культур сосны в конкурентных отношениях с живым напочвенным покровом вырубок // Изв. Тимирязев. с.-х. акад. 2010. Вып. 2. С. 27–34.

12. Шубин В.И., Раменская М.Л. Лесные культуры // Лесовосстановление в Карельской АССР и Мурманской области. Петрозаводск, 1975. С. 66–121.
13. Юрьева А.Л. Рост и развитие лесных культур сосны в экосистеме вейниково-луговиковых вырубок Карелии: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Петрозаводск, 2007. 23 с.
14. Юрьева А.Л., Гаврилова О.И., Хлюстов В.К. Динамика формирования надземной части культур сосны в период ранней диагностики // Тр. лесоинж. фак-та Петрозав. гос. ун-та. 2008. № 7. С. 149–151.
15. Burdett A.N. New Methods for Measuring Root Growth Capacity: Their Value in Assessing Lodgepole Pine Stock Quality // Canadian J. For. Res. 1979. Vol. 9. Pp. 63–67.
16. Gavrilova O., Yurjeva A. Prospects for Artificial Regeneration in Karelia // Social Suitability of Forestry in Northern Europe: Research and Education. Copenhagen, Denmark, 2001. Pp. 17–24.
17. Heiskanen J., Rikala R. Influence of Different Nursery Container Media on Rooting of Scots pine and Silver birch Seedling after Transplanting // New Forests. 1998. Vol. 16, no. 1. Pp. 27–42.
18. Heiskanen J., Rikala R. Effect of Peat-Based Container Media on Establishment of Scots pine, Norway Spruce and Silver Birch Seedlings After Transplanting in Contrasting Water Conditions // Scand. J. For. Res. 2000. No. 15(1). Pp. 49–57.
19. Mattsson A. Root Growth Capacity and Field Performance of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* Seedlings // Scand. J. For. Res. 1991. Vol. 6, no. 1–4. Pp. 105–112.
20. Memisoglu T., Tilki F. Growth of Scots pine and Silver birch Seedlings on Different Nursery Container Media // Notulae Botanicae, Horti Agrobotanici, Cluj-Napoca. 2014. Vol. 42, no. 2. Pp. 565–572.
21. Partanen J., Beuker E. Effects of Photoperiod and Thermal Time on the Growth Rhythm of *Pinus sylvestris* Seedlings // Scand. J. For. Res. 1999. Vol. 14, no. 6. Pp. 487–497.

Поступила 15.03.17

UDC 630*232.42

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.23

Formation of Artificial Pine Stands in the Karelian Taiga Zone

*O.I. Gavrilova*¹, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

*K.A. Pak*², Project and Program Development Officer

*I.V. Morozova*¹, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

*A.L. Yur'eva*¹, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

¹Petrozavodsk State University, pr. Lenina, 33, Petrozavodsk, 185910, Russian Federation; e-mail: ogavril@mail.ru, miv@petsu.ru, a_yureva@mail.ru

²Karellesproject – Karelian branch of FSUE “Roslesinforg”, ul. Dzerzhinskogo, 9, Petrozavodsk, 185035, Russian Federation; e-mail: mao-zin@yandex.ru

For citation: Gavrilova O.I., Pak K.A., Morozova I.V., Yur'eva A.L. Formation of Artificial Pine Stands in the Karelian Taiga Zone. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 4, pp. 23–33. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.23

The article discusses the growth of pine plantations established by planting material of containerized tree seedlings on mechanically treated soil of cutting and uncultivated soil. The forest trials were established in the framework of the international project “Taiga – Model Forest” by the members of the Petrozavodsk State University and the Forestry Research Institute of Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences. The cultures were created in the old overgrown felling of the vaccinium type pine forest on iron podzol loamy sands underlain by moraine. Soil stoniness was high. The forest trials were established by one-year-old ball-rooted seedlings and standard two-year ball-rooted seedlings. We examined cultures cultivated by sowing. The survival rate, safety, stem height, trunk diameter, current height increment, development of root systems were being studied for 14 years. The maximum values of indicators (survival rate for the 1st year – 100 %, safety for the 14th year – 82 %, average height of plantations – 5.24 cm, average trunk diameter – 8.0 cm) were noted for cultures from ball-rooted seedlings created on the treated soil. Excavations of root systems of forest cultures showed the absence of the express major root as well as the weaker roots development of all orders of plants planted in uncultivated soil. Based on 14-year observations of the pine cultures growth and analysis of the obtained results we concluded about the higher growth rates of crops from this type of planting material and the need for mandatory soil treatment when creating crops from ball-rooted seedlings in the green-moss types of forests. After the cowberry groves cutting, pine seeds started active growth later, but they had the same growth indicators as the crops from the standard planting material.

Keywords: seedling, crop, planting, pine, ball-rooted planting material, root system, felling, Republic of Karelia.

REFERENCES

1. Gavrilova O.I., Leont'eva E.A. O sootnoshenii srednikh vysot kul'tur sosny i primesi berezy na vyrubkakh Karelii [Correlation for Medium Height Pine Crops and Birch Trees on Clear Cuttings of Karelia]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki* [Proceedings of Petrozavodsk State University. Natural and Engineering Sciences], 2011, no. 4(117), pp. 64–66.
2. Zhigunov A.V. *Teoriya i praktika vyrashchivaniya posadochnogo materiala s zakrytoy kornevoy sistemoy* [Theory and Practice of Containerized Seedlings Growing]. Saint Petersburg, 2000. 294 p.
3. Zhigunov A.V., Kozlova T.I. O khemotropizme kornevykh sistem pri sozdanii lesnykh kul'tur sazhentsami «Briket» [On Root Systems Chemotropism in the Creation of Forest Plantations by “Planting Block” Seedlings]. *Rol' nauki v sozdanii lesov budushchego* [The Role of Science in Creating the Forests of the Future]. Leningrad, 1981, p. 77.
4. Izvekova I.M. Osobennosti razvitiya kornevoy sistemy sosny v kul'turakh, sozdannykh seyantsami s zakrytoy kornevoy sistemoy [Peculiarities of the Pine Root System Development in Cultures Created by Ball-Rooted Seedlings]. *Tekhnologiya sozdaniya i ekonomicheskie aspekty vyrashchivaniya lesnykh kul'tur* [Technology and Economic Aspects of Forest Crops Cultivation]. Saint Petersburg, 1992, pp. 139–143.
5. Kolström T., Leinonen T., eds. Model'nyy les «Tayga» [“Taiga” Model Forest]. *Model'nye lesa v Rossii: Opyt i perspektivy budushchego: materialy mezhdunar. seminara, Petrozavodsk, iyun' 1999 g.* [Model Forests in Russia: Experience and Prospects of the Future: Proc. Int. Workshop, Petrozavodsk, June 1999]. Finland, Joensuu, 1999, pp. 123–134.
6. Maslakov E.L., Melechin P.I., Izvekova I.M., Belostotskiy N.N., Ivanov F.E., Mikheyev F.I., Belostotskaya S.Kh., Gomel'skiy Yu.N., Zhigunov A.V. *Posadochnyy material s zakrytoy kornevoy sistemoy* [Ball-Rooted Planting Material]. Moscow, 1981. 143 p.

7. Morozova I.V., Gavrilova O.I. Zakonomernosti rosta lesnykh kul'tur sosny v techenie pervykh pyati let posle poseva semyan i posadki seyantsev na vyrubkakh yuzhnoy Karelii [Growth Regularities of Pine Forest Plantations During the First Five Years After Sowing and Seedlings Planting in Felling in Southern Karelia]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki* [Proceedings of Petrozavodsk State University. Natural and Engineering Sciences], 2011, no. 2(115), pp. 49–51.
8. Nabatov N.M. Dinamika zhivogo napochvennogo pokrova i ego vliyanie na rost kul'tur sosny [Dynamics of Living Ground Cover and Its Effect on the Pine Growth]. *Botanicheskiy zhurnal*, 1964, vol. 49, no. 5, pp. 669–677.
9. Nabatov N.M. Etapy formirovaniya sosnovogo lesa posle sploshnykh rubok i lesovosstanovleniya [Formation Stages of a Pine Forest after Clear-Cutting and Reforestation]. *Dinamicheskaya tipologiya lesa* [Dynamic Forest Typology], Moscow, 1989, pp. 144–156.
10. Khlyustov V.K., Gavrilova O.I., Morozova I.V. *Lesnye kul'tury Karelii (Etapy rannego vozrasta): monogr.* [Forest Plantations of Karelia (Stages of the Early Age)]. Moscow, 2007. 223 p.
11. Khlyustov V.K., Gavrilova O.I., Morozova I.V. Rost kul'tur sosny v konkurentnykh otноsheniyyakh s zhivym napochvennym pokrovom vyrubok [The Pine Growth in a Competitive Relations with the Live Ground Cover of Cuttings]. *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy], 2010, no. 2, pp. 27–34.
12. Shubin V.I., Ramenskaya M.L. Lesnye kul'tury [Forest Cultures]. *Lesovosstanovlenie v Karel'skoy ASSR i Murmanskoy oblasti* [Reforestation in the Karelian ASSR and the Murmansk Region]. Petrozavodsk, 1975, pp. 66–121.
13. Yur'eva A.L. *Rost i razvitie lesnykh kul'tur sosny v ekosisteme veynikovo-lugovikovykh vyrubok Karelii: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk* [The Growth and Development of Pine Forest Plantations in the Ecosystem of Reed-Grass Meadow Cuttings in Karelia: Cand. Biol. Sci. Diss. Abs.]. Petrozavodsk, 2007. 23 p.
14. Yur'eva A.L., Gavrilova O.I., Khlyustov V.K. Dinamika formirovaniya nadzemnoy chasti kul'tur sosny v period ranney diagnostiki [Dynamics of the Aboveground Part Formation of Scots Pine during the Early Periods of Diagnosis]. *Trudy Lesoinzhenernogo Fakul'teta PETRGU*, 2008, no. 7, pp. 149–151.
15. Burdett A.N. New Methods for Measuring Root Growth Capacity: Their Value in Assessing Lodgepole Pine Stock Quality. *Canadian J. For. Res.*, 1979, vol. 9, pp. 63–67.
16. Gavrilova O., Yurjeva A. Prospects for Artificial Regeneration in Karelia. *Social Suitability of Forestry in Northern Europe: Research and Education*. Copenhagen, Denmark, 2001, pp. 17–24.
17. Heiskanen J., Rikala R. Influence of Different Nursery Container Media on Rooting of Scots Pine and Silver Birch Seedlings after Transplanting. *New Forests*, 1998, vol. 16, no. 1, pp. 27–42.
18. Heiskanen J., Rikala R. Effect of Peat-Based Container Media on Establishment of Scots Pine, Norway Spruce and Silver Birch Seedlings After Transplanting in Contrasting Water Conditions. *Scand. J. Forest Res.*, 2000, no. 15(1), pp. 49–57.
19. Mattsson A. Root Growth Capacity and Field Performance of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* Seedlings. *Scand. J. For. Res.*, 1991, vol. 6, no. 1–4, pp. 105–112.
20. Memisoglu T., Tilki F. Growth of Scots Pine and Silver Birch Seedlings on Different Nursery Container Media. *Notulae Botanicae, Horti Agrobotanici, Cluj-Napoca*, 2014, vol. 42, no. 2, pp. 565–572.
21. Partanen J., Beuker E. Effects of Photoperiod and Thermal Time on the Growth Rhythm of *Pinus sylvestris* Seedlings. *Scand. J. For. Res.*, 1999, vol. 14, no. 6, pp. 487–497.

Received on March 15, 2017

УДК 630*238

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.34

ВЛИЯНИЕ ПРОРЕЖИВАНИЙ НА РАДИАЛЬНЫЙ ПРИРОСТ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

О.Н. Тюкавина, канд. с.-х. наук, доц.

А.С. Ильинцев, асп.

Р.А. Ершов, асп.

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: olga-tukavina@yandex.ru

Рубки ухода трудоемки и затратны, поэтому должна быть сформирована увязанная по срокам, интенсивности, периодичности программа рубок, которая позволит интенсифицировать лесное хозяйство. Теоретической основой оптимальных рубок ухода по целевым и экономическим функциям выступает изучение естественных механизмов роста деревьев разных категорий развития. Основным показателем реакции деревьев на «социальное» положение в древостое, климатические факторы, хозяйственные мероприятия является радиальный прирост. Цель исследования – оценка влияния прореживаний на радиальный прирост сосны в средневозрастных насаждениях. Рубку прореживания проводили в 1993 г. по традиционной технологии верховым методом. Учетные площадки закладывали вблизи волока и в центре пасеки. У модельных деревьев на высоте 1,3 м отбирали керны перпендикулярно прорубленным волокам (по направлению запад-восток). Классы продуктивности определяли по относительному диаметру. Категории роста деревьев выделяли по индексам радиального прироста. После рубки прореживания достоверного изменения радиального прироста не произошло, хотя отмечалась положительная динамика, особенно у деревьев вблизи волока. Все исследуемые деревья понизили класс продуктивности. Через 20 лет после рубки часть деревьев вблизи волока перешла в более высокий класс продуктивности, за исключением деревьев пятого класса. Отсутствие реакции у деревьев, относящихся к разным категориям роста, связано с тем, что рубки ухода на исследуемом выделе начали проводить сравнительно поздно, в 50-летних насаждениях. Отсутствие прочистки перед прореживанием привело к наличию 12 % сухостоя и депрессии в радиальном приросте. В результате проведенные рубки ухода стали лишь технической подготовкой для дальнейшей выборки деревьев.

Ключевые слова: прореживание, сосняк черничный, радиальный прирост, классы продуктивности, категории роста.

Введение

Ухудшение структуры лесного фонда на занятых освоенными лесами территориях, приводящее к дефициту лесных ресурсов, вынуждает лесопро-

Для цитирования: Тюкавина О.Н., Ильинцев А.С., Ершов Р.А. Влияние прореживаний на радиальный прирост сосны обыкновенной // Лесн. журн. 2017. № 4. С. 34–44. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.34

мышленников обращать внимание на интенсификацию лесного хозяйства, позволяющую повышать продуктивность лесов [7, 13].

Рубки ухода, относящиеся к чрезвычайно трудоемким приемам, затратны [1] и часто экономически не оправданы [6], особенно этапы осветления, прочистки и первый этап прореживания. Поэтому особое внимание необходимо уделять определению интенсивности, установлению сроков и периодичности проведения рубок ухода [12, 22–24], ибо запаздывание в сроках этапов рубок ухода грозит потерей продуктивности и отрицательным лесоводственным эффектом [15, 17].

В чистых по составу разновозрастных древостоях при помощи рубок ухода нельзя увеличить общую продуктивность [4, 16, 21, 26], но можно улучшить товарную структуру оставляемой их части. При этом будет своевременно использоваться вырубаемая часть древостоя, которая иначе превратится в сухой и валежник [3, 5, 9]. Поэтому при рубках ухода в хвойных насаждениях целесообразно удалять только угнетенные и тонкие деревья [3, 5, 9, 16, 25], отбор более крупных дает неблагоприятные результаты [16]. Выборка тонкомерных деревьев при рубках ухода также связана с отсутствием у них реакции на улучшение экологических условий [1, 5, 14]. Не только в нормально сомкнутых, но даже в сильно разреженных насаждениях перемещения из низших в высшие классы почти не происходит [5].

Следовательно, изучение естественных механизмов роста деревьев разных категорий развития выступает теоретической базой для оптимальных рубок ухода по целевым и экономическим функциям.

Основным показателем реакции деревьев на хозяйственное мероприятие является радиальный прирост [2, 12, 19, 20]. Реакция радиального прироста наблюдается лишь после повторного разреживания [14]. Рубки ухода влияют на ширину годичного кольца дерева [5, 10, 11, 25]. Реакция на рубку зависит от интенсивности выборки, количества приемов, категории крупности деревьев. Значительное увеличение прироста может отмечаться у деревьев крупных и средних ступеней толщины в последующие приемы рубок ухода [2, 14, 11].

Цель исследования – оценка влияния прореживания на радиальный прирост сосны обыкновенной в средневозрастных насаждениях.

Объекты и методы исследования

Объекты исследования расположены на арендованном участке ООО «Северная ЛОС» на территории Верховского участкового лесничества Обозерского лесничества (Архангельская область) в выделе 1 квартала 110 и представлены средневозрастными сосняками черничными свежими, пройденными рубкой прореживания (табл. 1).

Таблица 1

Таксационная характеристика насаждения до и после прореживания

Год	Площадь, га	Бонитет	Состав	Порода	Средние			Полнота	Запас, м ³ /га
					возраст, лет	высота, м	диаметр, см		
<i>До прореживания</i>									
1986	63	3	8С2Б+Е	С	50	14,0	14,0	0,9	180
<i>После прореживания</i>									
2002	63	2	7С2Б1Ос+Е	С Б Ос	65	19,0 18,0 19,0	22,0 18,0 20,0	0,6	190
2014	63	2	І ярус 8С2Б+Ос	С Б Ос	73	21,6 19,4 21,6	20,7 18,3 27,8	0,70 0,27 0,02	279 74 10
			ІІ ярус 10Е	Е	44	13,0	13,7	0,31	52
Итого	–	–	–	–	–	–	–	1,30	415

Рубку проводили в 1993 г. по традиционной технологии: валка бензопилой и трелевка трактором ГДТ-55 за вершину. Выборку деревьев осуществляли на волоках, в пасаках выбирали только отдельные крупные деревья. Ширина волока – 4 м. Ширина пасаки – 30 м.

На объекте с учетом ОСТ 56-69–83 «Площади пробные лесоустroительные» была заложена пробная площадь, на которой выделены ленточные учетные площадки шириной 10 м вблизи волока и в центре пасаки. На этих площадках пропорционально представленности деревьев по ступеням толщины отобрано по 20 модельных деревьев. У них на высоте 1,3 м перпендикулярно прорубленным волокам (по направлению запад–восток) брали керны буравом Пресслера. Ширину годичных колец деревьев измеряли с точностью до 0,01 мм на полуавтоматическом измерительном комплексе LINTAB с программным пакетом TSAP. Всего было измерено 2870 годичных колец.

Результаты исследования и их обсуждение

Наибольший радиальный прирост (1,5...2,7 мм) отмечался в первые 15...20 лет жизни деревьев (рис. 1), к 40-летнему возрасту насаждения (1980 г.) происходит снижение радиального прироста до 1 мм и менее. К моменту рубки ухода стабильно низкий радиальный прирост наблюдался на протяжении 10 лет. Через 2 года после выборки деревьев радиальный прирост начал увеличиваться, достигнув максимума (1,3 мм) вблизи волока, в центральной части пасаки он по-прежнему не превышал 1,0 мм. В период после рубки вблизи волока среднее квадратичное отклонение радиального прироста сосны составило 0,2, коэффициент изменчивости – 18,8, в центре пасаки – соответственно 0,1 и 12,5.

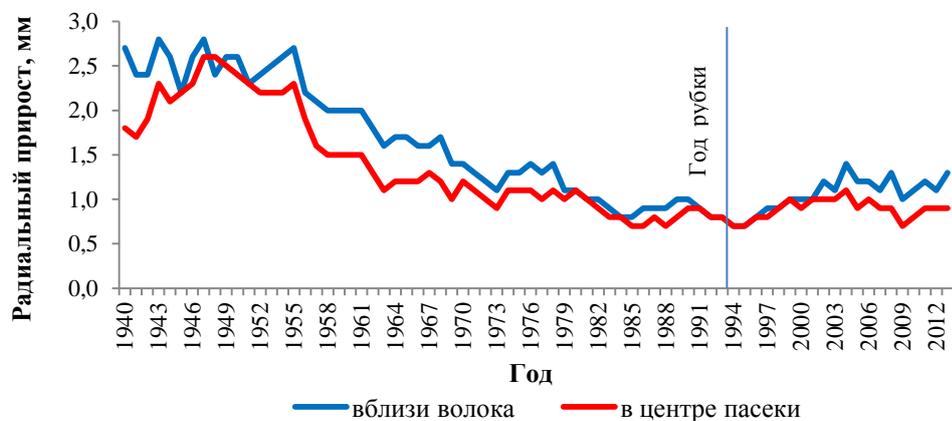


Рис. 1. Динамика радиального прироста сосны в насаждении, пройденном рубками прореживания

В древостое сосны можно выделить 74 % нормально развивающихся деревьев, 14 % – с ослабленным приростом, 12 % – сухостой. Основное количество сухостоя приходится на деревья диаметром до 14 см, с наибольшим числом сухих деревьев в 10-сантиметровой ступени толщины (рис. 2).

Учитывая радиальный прирост за последние 20 лет, можно сделать вывод, что причиной усыхания является естественный процесс изреживания в период жердняка. Низкий радиальный прирост на протяжении 10 лет до рубок ухода (см. рис. 1) и наличие значительного количества сухостоя указывает на несвоевременность проведения рубок ухода.

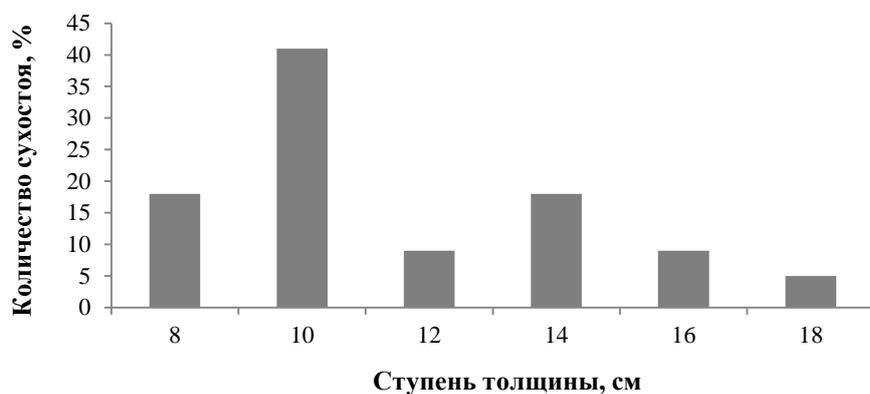


Рис. 2. Распределение сухостоя по 2-сантиметровым ступеням толщины

Реакция деревьев на рубки ухода зависит от категории крупности [2, 14, 11]. Для оценки ранга деревьев используется классификация Крафта, на основании которой деревья подразделяются на пять классов по степени господства и угнетенности [18]. Б.Д. Жилкин предпринял попытки улучшить классификацию

Крафта, взяв за основу диаметр на высоте 1,3 м [9]. Этот показатель может характеризовать конкурентоспособность деревьев, так как он более отзывчив на изменения условий среды [6]. По методике Б.Д. Жилкина диаметр на высоте 1,3 м среднего дерева древостоя принимается за 1,0, а древостой относится к третьему классу продуктивности. Типичные (средние) деревья всех пяти классов продуктивности имеют следующие относительные диаметры: 1-й класс – 1,6; 2-й – 1,3; 3-й – 1,0; 4-й – 0,8; 5-й – 0,6 [9]. Выделим границы классов продуктивности по относительным диаметрам: 1-й класс – более 1,45; 2-й – 1,20...1,45; 3-й – 0,90...1,20; 4-й – 0,70...0,90; 5-й – менее 0,70.

До проведения рубки прореживания на участке I древостоя, который в последующем стал центром пасеки, преобладали деревья 3-го класса продуктивности (52 %), практически половина всех деревьев относилась к 1- и 2-му классам (рис. 3).

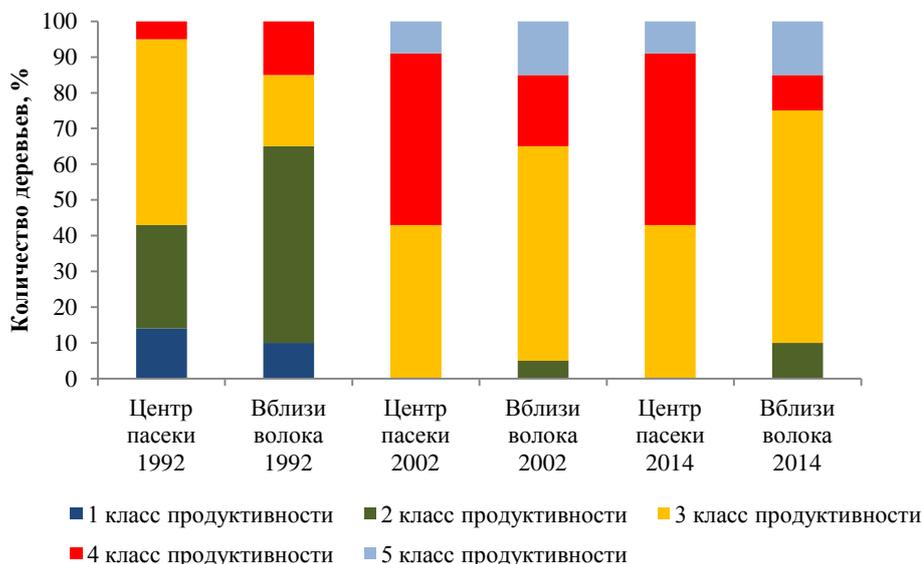


Рис. 3. Соотношение деревьев разных классов продуктивности в центре пасеки и вблизи волока в разные периоды относительно рубки

На участке II древостоя, который в последующем находился вблизи волока, преобладали деревья 2-го класса продуктивности (55 %), деревья 3- и 4-го классов продуктивности составляли лишь 35 %. Причем деревьев 4-го класса здесь на 10 % больше, чем на предыдущем участке. Средневзвешенный класс продуктивности на учетной площадке I составил 2,5, на учетной площадке II – 2,4. За 10-летний период после рубки прореживания у всех деревьев класс продуктивности понизился на единицу. В результате появились деревья 5-го класса продуктивности, отсутствуют деревья 1-го класса. Средневзвешенный класс продуктивности на учетной площадке I стал 3,7, на учетной площадке II – 3,5. Через 20 лет после прорубки волоков на учетной площадке

в центре пасеки соотношение деревьев разных классов продуктивности не изменилось, а вблизи волока средневзвешенный класс продуктивности древостоя улучшился на 0,2 за счет увеличения количества деревьев 2-го класса продуктивности на 5 %, 3-го класса – на 5 % по сравнению с 10-летним периодом после прореживаний. Следовательно, снижение класса продуктивности у деревьев после рубки прореживания указывает на запаздывание сроков ее проведения. Деревья, растущие вблизи волока, могут повысить класс продуктивности, исключение составляют деревья 5-го класса.

Дифференциация деревьев по конкурентной способности и выделение ослабленных деревьев происходит на стадии жердяка, что отражается на радиальном приросте. Выделим деревья с ослабленным приростом по диаметру (низшая категория), умеренным (средняя) и наибольшим (высшая) до и после проведения рубок ухода. Деревья низшей категории по индексу радиального прироста будут характеризоваться значениями менее 0,80, среднего – 0,80...1,20, высокого – более 1,21 [8]. На учетной площадке в центре пасеки до рубок прореживания деревья низшей категории по радиальному приросту составляли 29 %, средней – 38 %, высшей – 33 %. В первой группе наблюдается увеличение радиального прироста в период после рубок прореживания у 66 % деревьев, во второй – у 63 %, в третьей – у 71 %. На учетной площадке, которая располагается вблизи волока, деревья низшей категории составляют 30 %, средней – 40 %, высшей – 30 %. В первой группе отмечено увеличение радиального прироста в период после рубок прореживания у 100 % деревьев, во второй – у 75 %, в третьей – у 67 %. Таким образом, соотношение деревьев разных категорий на изучаемых пробных площадях одинаковое, большинство деревьев положительно отреагировало на рубки ухода. Вблизи волока деревьев с положительной динамикой радиального прироста в низшей категории больше на 24 %, в средней – на 12 % по сравнению с центральной зоной пасеки.

До проведения рубки прореживания и в первое десятилетие после нее различие между средними радиальными приростами деревьев разных категорий достоверно ($t = 2,2...8,7$ при $t_{st} = 2,1$). Во второе десятилетие после прореживаний различие в среднем радиальном приросте деревьев ближних категорий недостоверно ($t = 0,7...1,7$ при $t_{st} = 2,1$), что связано различной реакцией деревьев в каждой отдельной категории (табл. 2).

Таблица 2

Средний годичный радиальный прирост (мм) сосны различных категорий

Категория деревьев	Центр пасеки (I)			Вблизи волока (II)		
	1983 – 1992 гг.	1994 – 2003 гг.	2004 – 2013 гг.	1983 – 1992 гг.	1994 – 2003 гг.	2004 – 2013 гг.
Низшая	<u>0,45±0,05</u>	<u>0,57±0,14</u>	<u>0,61±0,14</u>	<u>0,54±0,04</u>	<u>0,54±0,09</u>	<u>0,79±0,22</u>
	0,10±0,02	0,25±0,05	0,22±0,05	0,08±0,04	0,15±0,06	0,26±0,12
Средняя	<u>0,75±0,03</u>	<u>0,83±0,09</u>	<u>0,84±0,12</u>	<u>0,89±0,04</u>	<u>0,98±0,08</u>	<u>1,25±0,15</u>
	0,21±0,07	0,21±0,07	0,16±0,04	0,23±0,05	0,20±0,06	0,39±0,10
Высшая	<u>1,14±0,03</u>	<u>1,21±0,06</u>	<u>1,23±0,08</u>	<u>1,25±0,05</u>	<u>1,26±0,09</u>	<u>1,41±0,14</u>
	0,31±0,08	0,48±0,08	0,42±0,08	0,19±0,07	0,35±0,11	0,50±0,12

Примечание. В числителе приведен радиальный прирост с западной стороны, в знаменателе – с восточной.

Достоверно различие радиального прироста (32 %) между деревьями среднего уровня вблизи волока и в центре пасеки ($t = 2,1$ при $t_{st} = 2,1$). Различия между радиальным приростом в соседних периодах до и после рубки недостоверны ($t = 0...0,81$ при $t_{st} = 2,1$), однако наблюдается динамика увеличения радиального прироста во всех категориях деревьев после проведения прореживаний. Различие в радиальном приросте между западной и восточной стороной дерева составляет от 0,08 до 0,5 мм. Наименьшее отличие характерно для деревьев низшей категории, наибольшее – высшей категории. После рубки прореживания различие в радиальном приросте между западной и восточной стороной дерева увеличивается.

Заключение

Рубки ухода на исследуемом выделе стали проводиться сравнительно поздно – в 50-летних насаждениях. Отсутствие прочистки перед прореживанием привело к наличию 12 % сухостоя и депрессии в радиальном приросте. В результате проведенные рубки ухода стали лишь технической подготовкой для дальнейшей выборки деревьев. Достоверного изменения радиального прироста не произошло, хотя отмечается положительная динамика, особенно у деревьев вблизи волока. После рубки прореживания все исследуемые деревья понизили класс продуктивности. Через 20 лет после рубки часть деревьев вблизи волока перешла в более высокий класс продуктивности, исключение составили деревья, относящиеся к 5-му классу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берданосов А.А. Повышение лесоводственной эффективности лесовыращивания под влиянием рубок ухода // Экономика. Право. Менеджмент: сб. тр. молодых исследователей БГУ. 2014. Вып. 1(1) URL: <http://izatelstvo.isea.ru/epm/archive.aspx?id=1>
2. Бузыкин А.И., Пшеничникова Л.С. Реакция средневозрастных сосняков на рубки ухода // Лесн. журн. 2009. № 1. С. 28–33. (Изв. высш учеб. заведений).
3. Буш К.К., Иевинь И.К. Экологические и технологические основы рубок ухода. Рига: Зинатне, 1984. 172 с.
4. Георгиевский Н.П. Рубки ухода за лесом. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1957. 142 с.
5. Давыдов А.В. Рубки ухода за лесом. М.: Лесн. пром-сть, 1971. 184 с.
6. Данилов Д.А., Ищук Т.А. Оценка конкурентных взаимоотношений сосны и ели в смешанных древостоях черничного типа леса, пройденных рубками ухода и комплексным уходом за лесом // Системы. Методы. Технологии. 2013. № 1(17). С. 176–181.
7. Данченко А.М., Бех И.А. Перспективы формирования высокопродуктивных и устойчивых лесов Западной Сибири // Сиб. экол. журн. 2011. № 6. С. 835–841.

8. Кишенков Ф.В. Таксационная структура древостоев: моногр. М.: МГУЛ, 2007. 131 с.
9. Мелехов И.С. Лесоводство: учеб. М.: Агропромиздат, 1989. 302 с.
10. Мельников Е.С. Лесоводственные основы теории и практики комплексного ухода за лесом: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. СПб., 1999. 35 с.
11. Мельников Е.С., Беляева Н.В. Динамика текущего прироста в сосновых и еловых древостоях после комплексного ухода за лесом // Лесн. журн. 2008. № 1. С. 56–64. (Изв. высш. учеб. заведений).
12. Онучин А.А., Маркова И.И., Павлов И.Н. Влияние рубок ухода на радиальный прирост стволов и формирование сосновых молодняков // Хвойные бореальной зоны. 2011. Т. XXIX, № 3-4. С. 257–265.
13. Онучин А.А., Соколов В.А., Втюрина О.П. Перспективы интенсификации лесного хозяйства в Сибири // Лесн. хоз-во. 2010. № 6. С. 11–12.
14. Пиеничникова Л.С. Оценка рубок промежуточного пользования в сосновых древостоях // Хвойные бореальной зоны. 2008. Т. XXV, № 1-2. С. 80–83.
15. Разин Г.С., Rogozin M.B. О ходе роста древостоев. Догматизм в лесной таксации // Лесн. таксация и лесоустройство. 2010. № 1(43). С. 41–70.
16. Сеннов С.Н. Рубки ухода за лесом. М.: Лесн. пром-сть, 1977. 160 с.
17. Сеннов С.Н. Результаты запоздалых рубок ухода // Лесн. хоз-во. 2011. № 3. С. 13.
18. Сукачев В.Н. Избранные труды. Т.1. Основы лесной типологии и биогеоценологии. Л.: Наука, 1972. 419 с.
19. Тюкавина О.Н. Изменение структуры годичных колец сосны под влиянием осушения // Лесн. журн. 2014. № 1. С. 72–80. (Изв. высш. учеб. заведений).
20. Феклистов П.А., Тюкавина О.Н. Особенности ассимиляционного аппарата, водного режима и роста деревьев сосны в осушенных сосняках: моногр. Архангельск: САФУ, 2014. 179 с.
21. Erteld W., Hengst E. Waldertragslehre. Leipzig, Germany, 1966. 332 s.
22. Gil W. Effect of Planting Density on Growth and Quality Parameters of Trees and Stands in Age Class II in Fresh Coniferous Forest site // Folia Forestalia Polonica. Ser. A. Forestry. 2006. No. 48. Pp. 89–105.
23. Huuskonen S., Hynynen J. Timing and Intensity of Precommercial Thinning and Their Effects on the First Commercial Thinning in Scots Pine Stands // Silva Fennica. 2006. Vol. 40(4). Pp. 645–662.
24. Mäkinen H., Isomäki A. Thinning Intensity and Growth of Scots pine Stands in Finland // Forest Ecology and Management. 2004. No. 201. Pp. 311–325.
25. Sloup M., Lehnerová L. Effect of Early Tending Measures on the Growth and Development of Young Pine Stand from Natural Regeneration // Zpravy Lesnickeho Vyzkumu. 2016. Vol. 61, no. 3. Pp. 213–222.
26. Varmola M., Salminen H. Timing and Intensity of Precommercial Thinning in *Pinus Sylvestris* Stands // Scand. J. For. Res. 2004. No. 19(2). Pp. 142–151.

Поступила 14.11.16

UDC 630*238

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.34

The Effect of Thinning on the Radial Increment of Scotch Pine

O.N. Tyukavina, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

A.S. Il'intsev, Postgraduate Student

R.A. Ershov, Postgraduate Student

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: olga-tukavina@yandex.ru

Thinning is labor-consuming and costly. Therefore, a felling program linked with the terms, intensity, periodicity, which will allow intensifying forestry, should be formed. The theoretical basis of thinning for target and economic functions is to study the mechanisms of natural tree growth of different categories of development. The radial increment is the main indicator of the reaction of trees to the “social” position in the forest stand, climatic factors, economic activities. The goal research was the evaluation of the effect of thinning on the pine radial increment in the middle-aged forest stands. Thinning was carried out in 1993 according to the traditional crown thinning technology. Discount areas were established near the skid road and in the cutting center. The cores of model trees were selected at a height of 1.3 m perpendicular to the cut narrow strips (in the west-east direction). The productivity classes were determined by the relative diameter. The categories of tree growth were distinguished by the radial growth indices. After thinning, we did not observe significant change in radial growth, although some positive dynamics, especially in trees near the skidding trails, was noted. All investigated trees lowered the productivity class. 20 years after the cutting, a part of trees near the skidding trails moved to a higher productivity class, except for the 5th grade trees. The lack of response in trees belonging to different categories of growth was due to the fact that thinning was started relatively late, in the 50-year-old stands. The lack of thinning of the forest stand led to the presence of 12 % deadness and depression in radial growth. As a result, the improvement thinning became only a technical preparation for further sampling of trees.

Keywords: thinning, myrtillus pine forest, radial increment, productivity class, category of growth.

REFERENCES

1. Berdanosov A.A. Povyshenie lesovodstvennoy effektivnosti lesovyrashchivaniya pod vliyaniem rubok ukhoda [Improvement of the Silvicultural Effectiveness of Forest Cultivation under the Influence of Thinning]. *Ekonomika. Pravo. Menedzhment. Sbornik trudov molodykh issledovateley BGU* [Economy. Law. Management. Collected Papers of

For citation: Tyukavina O.N., Il'intsev A.S., Ershov R.A. The Effect of Thinning on the Radial Increment of Scotch Pine. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 4, pp. 34–44. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.34

Young Researchers of BSU], 2014, no. 1(1). Available at: <http://izdatelstvo.isea.ru/epm/archive.aspx?id=1>.

2. Buzykin A.I., Pshenichnikova L.S. Reaktsiya srednevozrastnykh sosnyakov na rubki ukhoda [Response of Middle-Aged Pineries to Cleaning Cutting]. *Lesnoy zhurnal*, 2009, no. 1, pp. 28–33.

3. Bush K.K., Ievin' I.K. *Ekologicheskije i tekhnologicheskije osnovy rubok ukhoda* [Ecological and Technological Basis of Improvement Thinning]. Riga, 1984. 172 p.

4. Georgievskiy N.P. *Rubki ukhoda za lesom* [Improvement Thinning]. Moscow; Leningrad, 1957. 142 p.

5. Davydov A.V. *Rubki ukhoda za lesom* [Improvement Thinning]. Moscow, 1971. 184 p.

6. Danilov D.A., Ishchuk T.A. Otsenka konkurentnykh vzaimootnosheniy sosny i eli v smeshannykh drevostoyakh chernichnogo tipa lesa, proydenykh rubkami ukhoda i kompleksnym ukhodom za lesom [Competitive Relationships in the Pine-Spruce Stands Undergone Improvement Thinning and Complex Forest Care]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii* [Systems. Methods. Technologies], 2013, no. 1(17), pp. 176–181.

7. Danchenko A.M., Bekh I.A. Perspektivy formirovaniya vysokoproduktivnykh i ustoychivyykh lesov Zapadnoy Sibiri [Outlooks for the Formation of Highly Productive and Stable Forests in West Siberia]. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal* [Contemporary Problems of Ecology], 2011, no. 6, pp. 835–841.

8. Kishenkov F.V. *Taksatsionnaya struktura drevostoev*: monogr. [Taxation Structure of Stands]. Moscow, 2007. 131 p.

9. Melekhov I.S. *Lesovodstvo: ucheb.* [Forestry]. Moscow, 1989. 302 p.

10. Mel'nikov E.S. *Lesovodstvennye osnovy teorii i praktiki kompleksnogo ukhoda za lesom*: avtoref. dis. ... d-ra s.-kh. nauk [Forestry Principles of Theory and Practice of Complex Forest Management: Dr. Agric. Sci. Diss. Abs.]. Saint Petersburg, 1999. 35 p.

11. Mel'nikov E.S., Belyaeva N.V. Dinamika tekushchego prirosta v sosnovykh i elovykh drevostoyakh posle kompleksnogo ukhoda za lesom [Dynamics of Current Increment in Pine and Spruce Stands after Complex Tending of Forest]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2008, no. 1, pp. 56–64.

12. Onuchin A.A., Markova I.I., Pavlov I.N. Vliyanie rubok ukhoda na radial'nyy prirost stvolov i formirovanie sosnovykh molodnyakov [The Effect of Thinning on the Radial Increment of Stems and Formation of Pine Young Forests]. *Khvoynye boreal'noy zony* [Conifers of the Boreal Area], 2011, vol. XXIX, no. 3-4, pp. 257–265.

13. Onuchin A.A., Sokolov V.A., Vtyurina O.P. Perspektivy intensifikatsii lesnogo khozyaystva v Sibiri [Prospects of Intensification of Forestry in Siberia]. *Lesnoe khozyaystvo*, 2010, no. 6, pp. 11–12.

14. Pshenichnikova L.S. Otsenka rubok promezhutochnogo pol'zovaniya v sosnovykh drevostoyakh [Evaluation of Thinning in Pine Stands]. *Khvoynye boreal'noy zony* [Conifers of the Boreal Area], 2008, vol. XXV, no. 1-2, pp. 80–83.

15. Razin G.S., Rogozin M.V. O khode rosta drevostoev. Dogmatizm v lesnoy taksatsii [On the Progress in Forest Stand Growth and Dogmatism in Forest Valuation]. *Lesnaya taksatsiya i lesoustroystvo* [Forest Inventory and Forest Management], 2010, no. 1(43), pp. 41–70.

16. Sennov S.N. *Rubki ukhoda za lesom* [Improvement Thinning]. Moscow, 1977. 160 p.

17. Sennov S.N. Rezul'taty zapozdalykh rubok ukhoda [The Results of Delayed Thinning]. *Lesnoe khozyaystvo*, 2011, no. 3, p. 13.

18. Sukachev V.N. *Izbrannye trudy. T. 1. Osnovy lesnoy tipologii i biogeotsenologii* [Selectas. Vol. 1. Basics of Forest Typology and Biogeocenology]. Leningrad, 1972. 419 p.
19. Tyukavina O.N. *Izmenenie struktury godichnykh kolets sosny pod vliyaniem osusheniya* [Influence of Drainage on the Structure of Pine Annual Rings]. *Lesnoy zhurnal*, 2014, no. 1, pp. 72–80.
20. Feklistov P.A., Tyukavina O.N. *Osobennosti assimilyatsionnogo apparata, vodnogo rezhima i rosta derev'ev sosny v osushennykh sosnyakakh: monogr.* [Features of the Assimilation Apparatus, Water Regime and Growth of Pine Trees in Drained Pine Forests]. Arkhangelsk, 2014. 179 p.
21. Erteld W., Hengst E. *Waldertragslehre*. Leipzig, Germany, 1966. 332 p.
22. Gil W. Effect of Planting Density on Growth and Quality Parameters of Trees and Stands in Age Class II in Fresh Coniferous Forest Site. *Folia Forestalia Polonica. Ser. A. Forestry*, 2006, no. 48, pp. 89–105.
23. Huuskonen S., Hynynen J. Timing and Intensity of Precommercial Thinning and Their Effects on the First Commercial Thinning in Scots Pine Stands. *Silva Fennica*, 2006, vol. 40(4), pp. 645–662.
24. Mäkinen H., Isomäki A. Thinning Intensity and Growth of Scots Pine Stands in Finland. *Forest Ecology and Management*, 2004, no. 201, pp. 311–325.
25. Sloup M., Lehnerová L. Effect of Early Tending Measures on the Growth and Development of Young Pine Stand from Natural Regeneration. *Zpravy Lesnického Vyzkumu*, 2016, vol. 61, no. 3, pp. 213–222.
26. Varmola M., Salminen H. Timing and Intensity of Precommercial Thinning in *Pinus sylvestris* Stands. *Scand. J. For. Res.*, 2004, no. 19(2), pp. 142–151.

Received on November 14, 2016

УДК 630*443.3

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.45

К ВОПРОСУ ОБ ЕСТЕСТВЕННОМ ВОЗОБНОВЛЕНИИ ЛЕСА В ОЧАГАХ КОРНЕВОЙ ГУБКИ

Б.П. Чураков, д-р биол. наук, проф.

С.Г. Битяев, асп.

Р.А. Чураков, студ.

Ульяновский государственный университет, ул. Л. Толстого, д. 42, г. Ульяновск, Россия, 432000; e-mail: churakovbp@yandex.ru

Одним из негативных последствий развития очагов корневой губки, наряду с распадом древостоев, является неопределенность в возможности естественного возобновления хвойных пород. Поэтому исследования хода естественного возобновления в очагах корневой губки разной степени развития не только актуальны, но и своевременны. Цель работы – изучение процессов дифференциации деревьев сосны и естественного возобновления леса в очагах усыхания деревьев от корневой губки. Исследования проводили летом 2015 г. в возникающих, действующих и затухающих очагах усыхания. Для каждой категории усыхания обследовали по 6 очагов округлой формы со средним диаметром 40 м. Для сравнения на межочаговом пространстве были заложены контрольные площади, имеющие одинаковые с очагами усыхания характеристики и сопоставимые размеры (35×40 м). Средняя площадь очага и контрольной площади составляла 0,13 га. На каждой контрольной площади и в каждом очаге усыхания проводили сплошной пересчет деревьев с разделением их на 6 категорий состояния. Среднее число деревьев, шт.: на контрольных площадях – 92, в возникающих очагах – 85, в действующих – 79, в затухающих – 76. Результаты исследований показали, что в очагах усыхания, расположенных в сосняке орляковом, отмечено постепенное снижение количества условно здоровых деревьев и увеличение числа деревьев в той или иной степени ослабленных, усыхающих и отмерших по мере перехода очагов из категории возникающих в категории действующих и затухающих. На контрольных площадях в процессе дифференциации деревьев в среднем было 73 дерева (или 79 %) без внешних признаков ослабления, т. е. условно здоровых. На аналогичной площади в возникающих очагах усыхания таких деревьев сохранилось 58 шт. (или 69 %), в действующих – 21 шт. (27 %), в затухающих – 14 шт. (18 %). В очагах усыхания, особенно в окнах полога, может образоваться вполне достаточное количество разновозрастного самосева и подроста различных древесных пород. В обследованных лесных культурах отмечено увеличение количества самосева сосны в очагах усыхания по мере их перехода от возникающих к действующим и затухающим. Возрастание количества самосева сосны в действующих и затухающих очагах усыхания по сравнению с контролем и возникающими очагами связано, по нашему мнению, с тем, что при развитии в очагах усыхания со временем происходит снижение полноты,

Для цитирования: Чураков Б.П., Битяев С.Г., Чураков Р.А. К вопросу об естественном возобновлении леса в очагах корневой губки // Лесн. журн. 2017. № 4. С. 45–56. (Изн. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.45

появляются окна полога, в которых создаются лучшие условия для естественного возобновления сосны.

Ключевые слова: сосна, корневая губка, дифференциация деревьев, тип леса, очаг усыхания, категория состояния деревьев, естественное возобновление.

Введение

Многолетняя практика лесного хозяйства в лесостепной зоне и материалы лесоустройства указывают на то, что надеяться на появление благонадежного естественного возобновления в сосновых лесах не приходится. Исходя из этого работники лесного хозяйства ориентируются исключительно на искусственное лесовосстановление. Но массовое применение лесных культур приводит к тому, что в искусственно созданных насаждениях нарушается естественный процесс смены поколений, снижается биологическая устойчивость биоценозов [1, 7]. Следствием этого является массовое развитие очагов энтомофитов и болезней, особенно корневой губки *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. Одним из негативных последствий развития очагов корневой губки, наряду с распадом древостоев, является неопределенность в возможности естественного возобновления хвойных пород. Поэтому исследования хода естественного возобновления в очагах корневой губки разной степени развития не только актуальны, но и своевременны.

Корневая губка – один из самых вредоносных и наиболее распространенных в мире дереворазрушающих грибов [5, 6, 9, 13, 14]. Считается, что комплекс *Heterobasidion s.l.* включает в себя 4 вида, 2 из которых встречаются в России [17–20]. Поражение древостоев корневой губкой носит очаговый характер [5, 9, 13, 20].

По С.Ф. Негруцкому [9], очаг корневой губки – это групповое поражение деревьев с явно выраженным патологическим ослаблением и усыханием деревьев, сопровождающимся ветровалом. Очагом корневой губки считается [10] весь выдел, в котором обнаружены пораженные деревья. Площадь, занятая группой (куртиной) ослабленных, усыхающих и усохших деревьев, называется очагом усыхания.

Корневой губкой чаще всего поражаются лесные культуры, созданные на старопахотных землях. В.Г. Стороженко и И.Г. Вишневская [11] выделяют в них очаги инфекции – участки культур, в которых возбудитель болезни обладает патогенностью, позволяющей ему поражать живые деревья.

Естественные сосновые древостои поражаются корневой губкой меньше, поскольку они чаще всего формируются как разновозрастные насаждения. По данным многолетних исследований В.Г. Стороженко [12], в разновозрастных лесах естественного происхождения сосна обыкновенная в возрасте до 40 лет практически не поражается гнилевыми болезнями, в возрасте 40...80 лет отмечаются лишь единичные поражения.

Проведенные некоторыми авторами [6, 8, 15, 16] исследования показывают, что в очагах корневой губки имеется определенное количество деревьев

сосны без признаков ослабления, которые могут располагаться в любом месте очага. Так, на приведенной в монографии С.Ф. Негруцкого [9] схеме многолетнего очага корневой губки внешне здоровые деревья сосны располагались по периферии очага. О.Н. Гусева [6] также отмечает, что по периметру хронически действующих очагов усыхания сохраняются хорошо развитые деревья. В то же время В.Б. Звягинцев и Г.А. Волченкова [8] указывают на наличие устойчивых к болезни деревьев в центре очага. Такие деревья могут быть тем генетическим потенциалом, который будет способствовать естественному возобновлению леса в очагах корневой губки. Это особенно актуально в связи с тем, что искусственные посадки сосны чаще, чем самосев, подвергаются поражению этим дереворазрушающим грибом. Устойчивость лесных культур к поражению корневой губкой может повышаться в связи с постепенно происходящим процессом развития флористического разнообразия на лесокультурной площади [2–6, 20].

Но появление такого разнообразия в чистых культурах в виде живого напочвенного покрова, самосева древесно-кустарниковых пород во многом определяется лесорастительными условиями. Известно, что в сосняках лишайниковых процесс формирования флористического разнообразия идет очень медленно. Кроме того, в этих типах леса и сама возможность появления очагов корневой губки минимизирована [8, 9, 13]. Так, С.Ф. Негруцкий [9] отмечает, что в насаждениях сосны низких бонитетов, произрастающих на бедных сухих почвах, распространение гриба практически не бывает значительным. В [10] также указывается на то, что поражению корневой губкой сильнее всего подвержены хвойные породы, произрастающие в наиболее продуктивных типах леса.

В более благоприятных местообитаниях процесс формирования флористического разнообразия идет гораздо активнее. Но в этих условиях происходит жесткая конкурентная борьба, и культуры сосны быстро заглушаются самосевом и порослью лиственных пород, что требует проведения рубок ухода.

При наличии в очагах корневой губки деревьев без признаков поражения патогеном можно предположить, что при благоприятных почвенно-климатических условиях и достаточном количестве здоровых семян вполне возможно естественное возобновление сосны, успешность которого будет зависеть от множества факторов биотического и абиотического характера. При этом предложено рассматривать два варианта развития ситуации.

Первый вариант характерен для сосняков, растущих на богатых почвах с большим разнообразием подлеска, сопутствующих древесных пород и травянистого покрова. Типы леса сложные, разнотравные с преобладанием злаковых растений и др. При развитии очагов корневой губки в этих условиях, следствием чего является распад древостоя, в образующихся окнах полога может появиться самосев таких лиственных пород, как клен остролистный, липа мелколистная, дуб черешчатый, лещина обыкновенная. При наличии в составе древостоя березы и осины кроме самосева этих пород после рубки возможно появление и их поросли. В таких условиях самосев сосны, даже при

наличии достаточного количества семян, не всегда сможет сформировать благонадежный подрост из-за высокой конкуренции с дерновыми злаками и листовым самосевом. В подобных лесорастительных условиях на площади очага корневой губки может произойти смена сосны на листовые породы с единичным участием коренной породы.

Во втором варианте – при произрастании сосняков на более бедных почвах (сосняки брусничники, черничники, зеленомошники и др.) – в окнах полога при распаде древостоя сосны в очагах корневой губки наряду с листовым может сформироваться сосновый, а иногда и дубовый подрост. Сохранению такого подростка способствует регулярное проведение рубок ухода в целях предотвращения заглущения сосны и дуба другими листовыми породами. Постепенно на таких участках может восстановиться сосновый древостой с частичным участием дуба или других листовых пород.

Поскольку зарастание распадающихся очагов корневой губки листовыми породами является часто происходящим естественным процессом смены пород, то с точки зрения возобновления леса коренными породами этот процесс не представляет значительного практического интереса. Гораздо важнее возможность появления и сохранения в очагах корневой губки самосева сосны и дуба.

Цель данной работы – изучение процессов дифференциации деревьев сосны и естественного возобновления леса в очагах усыхания деревьев от корневой губки. В задачи исследований входило изучение распределения деревьев сосны по категориям состояния в очагах усыхания разной степени развития, выявление в этих очагах деревьев без признаков ослабления как потенциальных производителей самосева сосны, учет и анализ самосева и подростка в очагах усыхания разной степени развития.

Объекты и методы исследования

Исследования проводили летом 2015 г. в 27-м выделе (площадь 16,3 га) 23-го квартала Кузоватовского семенного лесничества Ульяновской области в очагах усыхания разной степени развития: возникающих, действующих и затухающих. Очаги имели округлую форму со средним диаметром 40 м. Всего было обследовано 18 очагов усыхания (по 6 шт. для каждой категории усыхания). Для сравнения на межочаговом пространстве было заложено 6 контрольных площадей, имеющих одинаковые с очагами характеристики и сопоставимые площади размером 35×40 м. Средняя площадь очага и контрольной площади составляла 0,13 га. На каждой контрольной площади и в каждом из очагов усыхания проводили сплошной пересчет деревьев с подразделением их на 6 категорий состояния. Среднее число деревьев, шт.: на контрольных площадях – 92, в возникающих очагах – 85, в действующих – 79, в затухающих – 76.

Таксационная характеристика выдела: состав 8С2Б + ДН + ЛП, ед. Кл, Ос; культуры 1956 г.; класс возраста сосны – III; средняя высота – 22 м, средний диаметр – 24 см; класс бонитета – I, тип леса – сосняк орляковый (ОРЛ); тип условий местопроизрастания – суборь свежая (В₂), полнота – 0,8.

Ярус подлеска представлен лещиной обыкновенной – *Corylus avellana* L., рябиной обыкновенной – *Sorbus aucuparia* L., бересклетом бородавчатым – *Euonymus verrucosus* Scop. и раkitником русским – *Cytisus ruthenicus* Fisch.

Травяно-кустарничковый ярус представлен папоротником орляком обыкновенным – *Pteridium agulimum* L., костяникой обыкновенной – *Rubus saxatilis* L., брусникой обыкновенной – *Vaccinium vitis-idaea* L., земляникой обыкновенной – *Fragaria vesca* L., ландышем майским – *Convallaria majalis* L., купеной лекарственной – *Polygonatum odoratum* L., грушанкой круглолистной – *Pyrola rotundifolia* L., чины весенней – *Lathyrus vernus* Bernh., ортилей (рамишей) однобокой – *Orthilia secunda* (L.) House, геранью лесной – *Geranium sylvaticum* L., фиалкой собачьей – *Viola canina* L. Общее проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса составляет в среднем 70 %.

Ярус зеленых мхов слабо выражен и представлен *Pleurocium schreberi* и *Dicranum undulatum*.

Почва скрытоподзолистая, супесчаная; средняя влажность почвы на глубине 5...10 см – около 18 % от веса сухой почвы.

В исследуемых очагах и на контрольных площадях были заложены ленточные пробные площади размером 25×2 м по одной на каждой пробе. На них был проведен учет самосева и подростов сосны и лиственных пород. При этом пневую поросль лиственных пород после выборочной санитарной рубки учитывали по числу пней с порослью, каждый корневой отпрыск – как самостоятельное растение. Подлесок из кустарников не учитывали. Количество самосева и подростов во всех вариантах приводили на площадь 50 м².

Дифференциация деревьев в одновозрастных чистых насаждениях – это естественный закономерный процесс, постоянно происходящий без вмешательства человека во всех лесных насаждениях. Но на ход этого процесса могут оказать заметное влияние факторы окружающей среды, а также патогенный фактор. С практической точки зрения определенный интерес представляет вопрос о характере распределения деревьев по категориям состояния в древостоях сосны, пораженных корневой губкой, по сравнению с древостоями вне очагов усыхания, а также как этот процесс может сказываться на ходе естественного возобновления леса.

В связи с этим было изучено распределение деревьев сосны на контрольных площадях в очагах усыхания разной степени развития в сосняке орляковом. Категории состояния деревьев сосны приведены по А.И. Воронцову и др. [14]: I – деревья без признаков ослабления, II – ослабленные деревья, III – сильно ослабленные деревья, IV – усыхающие деревья, V – сухостой текущего года, VI – сухостой прошлых лет. К сухостою прошлых лет отнесены также зависшие и валежные деревья.

В обследуемых лесных культурах для изучения дифференциации деревьев были подобраны участки с очагами усыхания разной степени развития: возникающие, действующие и затухающие. Возникающие очаги усыхания обычно характерны для сосновых культур с полнотой 0,8 и выше; в них начи-

нается единичное выпадение деревьев основного яруса от болезни. Наличие возникающих очагов существенно не сказывается на снижении полноты и запаса древостоя. Действующие очаги усыхания характеризуются усилением процесса дифференциации и увеличением выпадения деревьев основного яруса от болезни; наблюдается заметное снижение полноты и запаса древостоя. В затухающих очагах усыхания процессы дифференциации деревьев постепенно замедляются в связи с окончательным распадом древостоя.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты исследований обрабатывали методами математической статистики с определением среднего арифметического (X), средней ошибки среднеарифметического (S_x) и достоверности различий (p) между сравниваемыми средними по критерию Стьюдента на 0,05-м уровне значимости исследуемого показателя (табл. 1).

Таблица 1

Распределение деревьев сосны по категориям состояния в очагах усыхания разной степени развития

Проба и достоверность различий	Учтено деревьев, шт.						всего
	по категориям состояния						
	I	II	III	IV	V	VI	
<i>Возникающие очаги</i>							
Контроль	73±0,5	13±0,5	4±0,5	2±0,4	–	–	92±0,7
Очаг	58±0,6	19±0,6	5±0,6	2±0,3	1±0,3	–	85±0,7
p	<0,05	<0,05	>0,05	>0,05			<0,05
<i>Действующие очаги</i>							
Контроль	73±0,5	13±0,5	4±0,5	2±0,4	–	–	92±0,7
Очаг	21±0,5	22±0,5	14±0,5	11±0,4	6±0,4	5±0,2	79±0,6
p	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05			<0,05
<i>Затухающие очаги</i>							
Контроль	73±0,6	13±0,5	4±0,5	2±0,3	–	–	92±0,7
Очаг	14±0,5	9±0,6	12±0,6	15±0,4	11±0,5	15±0,3	76±0,9
p	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05			<0,05

Эксперимент в сосняке орляковом показал, что на контрольных площадях в сосновых культурах 1956 г. при дифференциации деревьев по категориям состояния в среднем было 73 дерева (или 79 %) без внешних признаков ослабления, т. е. условно здоровых. На аналогичной площади в возникающих очагах усыхания таких деревьев сохранилось 58 шт. (69 %), в действующих очагах – 21 шт. (27 %), в затухающих очагах – 14 шт. (18 %). Следовательно, наблюдается постепенное снижение количества условно здоровых деревьев и увеличение количества деревьев в той или иной степени ослабленных, усыхающих и отмерших.

Одновременно с обследованиями древостоев на контрольных площадях и в очагах усыхания проводили учет самосева и подроста. Результаты приведены в табл. 2.

Таблица 2

Учет самосева и подроста в очагах усыхания

Проба и достоверность различий	Количество самосева и подроста, шт.		
	хвойного	лиственного	всего
<i>Возникающие очаги</i>			
Контроль	6±0,3	19±0,9	25±0,6
Очаг	8±0,4	16±0,8	24±0,6
p	>0,05	>0,05	>0,05
<i>Действующие очаги</i>			
Контроль	6±0,3	19±0,9	25±0,6
Очаг	10±0,5	16±0,5	26±0,5
p	<0,05	>0,05	>0,05
<i>Затухающие очаги</i>			
Контроль	6±0,3	19±0,9	25±0,6
Очаг	14±0,4	15±0,5	29±0,5
p	<0,05	>0,05	<0,05

В ходе анализа данных табл. 2 установлено, что на контрольных площадях сосновый самосев составил в среднем 24 % от общего учтенного количества подроста, лиственное молодое поколение – 76 %. Лиственный подрост состоял из самосева клена остролистного, дуба черешчатого, березы повислой, липы мелколистной, пневой поросли дуба, березы и липы, корневых отпрысков осины. Состав – 3С3Кл2Д1Б1Л ед. Ос.

В возникающих очагах усыхания на сосновый самосев в среднем приходится 33 %, на лиственный подрост – 67 % от общего учтенного количества самосева и подроста. Самосев и подрост представлены теми же возрастными группами и породным составом, что и на контрольных площадях. Усредненный состав подроста – 3С3Кл2Д1Б1Л ед. Ос.

В действующих очагах усыхания количество соснового подроста значительно увеличилось и в среднем составило 38 %, лиственного – уменьшилось до 62 %. Следовательно, в действующих очагах усыхания относительное количество соснового самосева и подроста возросло на 5 %, лиственного – снизилось на 5 % по сравнению с возникающими очагами усыхания. По сравнению с контролем в действующих очагах усыхания количество соснового подроста увеличилось на 14 %, лиственного подроста – уменьшилось на 14 %. Состав самосева и подроста в действующих очагах усыхания несколько изменился: 4С3Кл2Д1Б ед. Л и Ос.

В затухающих очагах усыхания среднее количество самосева и подроста сосны значительно увеличилось по сравнению с действующими очагами и составило 48 % от общего количества самосева и подроста, количество самосева и подроста лиственных пород в затухающих очагах уменьшилось до 52 %. По сравнению с действующими очагами породный состав подроста не изменился.

Самосев и подрост хвойных и лиственных пород на всех обследованных участках представлен возрастными группами от 1 года до 5 лет.

Увеличение количества самосева сосны в действующих и затухающих очагах усыхания по сравнению с контролем и возникающими очагами связано, по нашему мнению, с тем, что при развитии очагов усыхания в них со временем происходит снижение полноты, появляются окна полога, в которых создаются лучшие условия для естественного возобновления сосны.

Полученные данные дают основание предположить, что в очагах усыхания и в окнах полога может образоваться вполне достаточное количество разновозрастного самосева и подростка различных древесных пород. В пересчете на 1 га это составит: в контроле всего самосева и подростка – 5 000 шт., в том числе сосны – 1 200 шт.; в возникающих очагах усыхания – соответственно 4 800 и 1 600 шт.; в действующих очагах – 5 200 и 2 000 шт., в затухающих очагах – 5 800 и 2 800 шт. Следовательно, на лесных участках, подверженных поражению корневой губкой, вроде бы наблюдается успешное естественное лесовозобновление, в том числе и за счет соснового самосева и подростка, однако все гораздо сложнее. Дело в том, судьба этого соснового самосева непредсказуема. Самосев и подрост сосны в очагах, хотя и разновозрастный, но в основном представлен растениями в возрасте до 3 лет. Часть молодого поколения сосны в очагах усыхания может погибнуть в связи с поражением корневой губкой или по другим причинам. К аналогичным выводам пришли в своих работах И.А. Алексеев [14] и О.Н. Гусева [7].

Заключение

Процессы дифференциации деревьев по категориям состояния идут в очагах усыхания с большей интенсивностью по сравнению с сосновыми древостоями в межочаговом пространстве. По мере активизации болезни интенсивность дифференциации деревьев также усиливается.

Сохраняется определенное количество деревьев без признаков поражения болезнью, что указывает на их устойчивость к инфекции. Условно здоровые деревья сосны в очагах корневой губки могут служить хорошим генофондом для естественного возобновления леса.

В обследованных лесных культурах отмечено увеличение количества самосева сосны в очагах усыхания по мере их развития от возникающих к действующим и затухающим, что, по нашему мнению, связано с влиянием условий окружающей среды и биоэкологическими особенностями сосны, которая лучше возобновляется в окнах полога, появляющихся в процессе развития очагов усыхания.

Достоверно невозможно утверждать, что весь подрост сосны окажется в будущем благонадежным, поскольку часть его может погибнуть по различным причинам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авров Ф.Д. Восстановление устойчивых лесных насаждений // Лесн. хоз-во. 2000. № 2. С. 33–35.
2. Алексеев И.А. Научные основы лесохозяйственных мер борьбы с корневой губкой в лесах Полесья и лесостепи УССР: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Л., 1974. 35 с.
3. Алексеев И.А., Гаврицкова Н.Н., Кусакин А.В., Коток О.Н. Определение показателей биоразнообразия в насаждениях как объективных факторов устойчивого ведения лесного хозяйства // Рациональное использование лесных ресурсов: материалы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию В.Е. Печенкина, 24–25 янв. 2001 г. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2001. С. 36–38.
4. Ахметов В.М. Корневые гнили сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в Нижнем Прикамье и меры по снижению их вредоносности: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Йошкар-Ола, 2007. 22 с.
5. Василяускас А.П. Корневая губка и устойчивость экосистем хвойных лесов: моногр. Вильнюс: Моклас, 1989. 176 с.
6. Гусева О.Н. Поражение корневой губкой чистых и смешанных культур сосны в условиях экологического стресса: дис. ... канд. с.-х. наук. Йошкар-Ола, 2011. 23 с.
7. Демичева Н.В., Денисов С.А., Егоров В.М. К выбору способов восстановления сосняков Пензенской области // Лесн. журн. 2011. № 1. С. 35–39. (Изв. высш. учеб. заведений).
8. Звягинцев В.Б., Волченкова Г.А. Трансформация патогенеза корневой губки при интенсификации лесного хозяйства // Грибные сообщества лесных экосистем. Т. 4. М.; Петрозаводск: Карел. НЦ РАН, 2014. С. 15–25.
9. Негруцкий С.Ф. Корневая губка. М.: Агропромиздат, 1986. 196 с.
10. Рекомендации по защите хвойных пород от корневой губки в лесах европейской части России. Пушкино: ВНИИЛМ, 2001. 12 с.
11. Стороженко В.Г., Вишневская И.Г. Диагностика пораженных сосновых культур корневой губкой // Защита леса от вредителей и болезней. М.: ВНИИЛМ, 1980. С. 192–201.
12. Стороженко В.Г. Эволюционные принципы поведения дереворазрушающих грибов в лесных биогеоценозах. Тула: Гриф и Ко, 2014. 184 с.
13. Федоров Н.И. Корневые гнили хвойных пород. М.: Лесн. пром-сть, 1984. 160 с.
14. Чураков Б.П., Алексеев И.А., Чураков Д.Б. Лесная фитопатология: учеб. Ульяновск: УлГУ, 2013. 476 с.
15. Чураков Б.П., Битяев С.Г. К вопросу возможности естественного возобновления в очагах корневой губки // Мониторинг и биологические методы контроля вредителей и патогенов древесных растений: от теории к практике: всерос. конф. с междунар. участием, Москва, 18–11 апр. 2016. М., 2016. С. 249–250.
16. Чураков Б.П., Маслов В.Д., Чураков Р.А. Влияние корневой губки на древесную продукцию сосны в очагах болезни // Вестн. Ульянов. гос. с.-х. акад. 2013. № 4. С. 59–66.
17. Korhonen K. Intersterility Groups of *Heterobasidion annosum*. Commun. Inst. Forest. Fenn., 1978. Vol. 94. Pp. 1–25.
18. Korhonen K. Fungi Belonging to the Genera *Heterobasidion* and *Armillaria* in Eurasia // Proc. 6th Intern. Conf. "Problems of Forest Phytopathology and Mycology". Moscow; Petrozavodsk, 2004. Pp. 89–114.

19. Steinlid J., Rayner A.D.M. Environmental and Endogenous Controls of Developmental Pathways: Variation and its Significance in the Forest Pathogen, *Heterobasidion annosum* // New Phytol. 1989. Vol. 113, no. 3. Pp. 245–258.

20. Woodward S., Steinlid J., Karjalainen R. *Heterobasidion Annosum: Biology, Ecology, Impact and Control*. New York, USA, 1998. 589 p.

Поступила 14.01.17

UDC 630*443.3

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.45

On Natural Reforestation in the Focus of Pine Fungus

B.P. Churakov, Doctor of Biological Sciences, Professor

S.G. Bityaev, Postgraduate Student

R.A. Churakov, Student

Ulyanovsk State University, ul. L. Tolstogo, 42, Ulyanovsk, 432000, Russian Federation;
e-mail: churakovbp@yandex.ru

One of the negative consequences of the development of foci of pine fungus, along with the stands decomposition, is the uncertainty in the possibility of natural regeneration of coniferous species. Therefore, the studies of the natural regeneration course in the foci of pine fungus of different degrees of development are not only relevant, but also timely. The goal of research was to study the processes of pine trees differentiation and the natural forest regeneration in the centers of desiccation of trees with pine fungus. The studies were conducted in summer of 2015 in the emerging, active and decaying foci of desiccation. For each category of desiccation, by 6 foci of round shape with an average diameter of 40 m were examined. For comparison, control areas with the same characteristics as the foci of desiccation and comparable sizes (35 × 40 m) were established on the interfocal area. The average area of the focus and control area was 0.13 ha. On every control area and every center of desiccation, we performed a continuous counting of trees, dividing them into 6 categories of state. The average number of trees was counted (pcs.): in the control areas – 92, in emerging foci – 85, in active foci – 79, in decaying foci – 76. The study results showed in the centers of desiccation, located in the pine forest, a gradual decrease in number of conditionally healthy trees and an increase in the number of weakened, experiencing mortality, dead trees as the foci transferred from the category of emerging foci to the active and decaying categories. In the control areas, in the process of tree differentiation, on average, 73 trees (or 79 %) were found without external symptom of weakening, i. e. conditionally healthy. In a similar area in the emerging foci of desiccation we found only 58 such trees (or 69 %), in the active – 21 pcs. (27 %), in decaying – 14 pieces (18 %). In the foci of desiccation, especially under the canopy, an ample amount of all-aged natural seeding and undergrowth of various tree species could be formed. In the examined forest cultures, we observed an increase in the amount of natural seeding of pine in the foci of desiccation as they transferred from the emerging to the active and decaying foci. The increase of natural seeding of pine in active

For citation: Churakov B.P., Bityaev S.G., Churakov R.A. On Natural Reforestation in the Focus of Pine Fungus. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 4, pp. 45–56. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.45

and decaying foci of desiccation, in comparison with the control and emerging foci, was associated, in our opinion, with the fact that, with the development in the foci of desiccation, the completeness decreased with time, interruption of canopy appeared, in which the better conditions were created for natural regeneration of pine.

Keywords: pine, pine fungus, differentiation of trees, forest type, center of desiccation, category of tree state, natural reforestation.

REFERENCES

1. Avrov F.D. Vosstanovlenie ustoychivyykh lesnykh nasazhdeniy [Restoration of Sustainable Forest Plantations]. *Lesnoe khozyaystvo*, 2000, no. 2, pp. 33–35.
2. Alekseev I.A. *Nauchnye osnovy lesokhozyaystvennykh mer bor'by s kornevoy gubkoy v lesakh Poles'ya i lesostepi USSR: avtoref. dis. ... d-ra s.-kh. nauk* [Scientific Bases of Forest Management Measures Against Pine Fungus in the Forests of Polesye and the Forest-Steppe of the Ukrainian SSR: Dr. Agric. Sci. Diss. Abs.]. Leningrad, 1974. 35 p.
3. Alekseev I.A., Gavritskova N.N., Kusakin A.V., Kotok O.N. Opredelenie pokazateley bioraznoobraziya v nasazhdeniyakh kak ob"ektivnykh faktorov ustoychivogo vedeniya lesnogo khozyaystva [Determination of Biodiversity Indicators in Plantations as Objective Factors of Sustainable Forest Management]. *Ratsional'noe ispol'zovanie lesnykh resursov: materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashch. 100-letiyu V.E. Pechenkina, 24–25 yanv. 2001 g.* [Rational Use of Forest Resources: Proc. Intern. Sci. Prac. Conf., Dedicated to the 100th Anniversary of V.E. Pechenkin, 24–25 January 2001]. Yoshkar-Ola, 2001, pp. 36–38.
4. Akhmetov V.M. *Kornevye gnili sosny obyknovnoy (Pinus sylvestris L.) v Nizhnem Prikam'e i mery po snizheniyu ikh vrednosnosti: avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk* [Root Rot of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) in the Lower Kama Region and Measures to Reduce Their Harmfulness: Cand. Agric. Sci. Diss. Abs.]. Yoshkar-Ola, 2007. 22 p.
5. Vasilyauskas A.P. *Kornevaya gubka i ustoychivost' ekosistem khvoynykh lesov: monogr.* [Pine Fungus and Stability of Coniferous Forest Ecosystems]. Vilnius, 1989. 176 p.
6. Guseva O.N. *Porazhenie kornevoy gubkoy chistykh i smeshannykh kul'tur sosny v usloviyakh ekologicheskogo stressa: dis. ... kand. s.-kh. nauk* [Pine Fungus Attack of Axenic and Mixing Pine Cultures Under Environmental Stress: Cand. Agric. Sci. Diss. Abs.]. Yoshkar-Ola, 2011. 23 p.
7. Demicheva N.V., Denisov S.A., Egorov V.M. K vyboru sposobov vosstanovleniya sosnyakov Penzenskoy oblasti [To Choosing Reforestation Methods for Pine Forests of Penza Region]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2011, no. 1, pp. 35–39.
8. Zvyagintsev V.B., Volchenkova G.A. Transformatsiya patogeneza kornevoy gubki pri intensivatsii lesnogo khozyaystva [Transformation of Pine Fungus Pathogenesis during the Forestry Intensification]. *Gribnye soobshchestva lesnykh ekosistem* [Fungal Communities in Forest Ecosystems], 2014, vol. 4, pp. 15–25.
9. Negrutskiy S.F. *Kornevaya gubka* [Pine Fungus]. Moscow, 1986. 196 p.
10. *Rekomendatsii po zashchite khvoynykh porod ot kornevoy gubki v lesakh evropeyskoy chasti Rossii* [Recommendations for Coniferous Species Protection from Pine Fungus in the Forests of the European Part of Russia]. Pushkino, 2001. 12 p.
11. Storozhenko V.G., Vishnevskaya I.G. Diagnostika porazhennykh sosnovykh kul'tur kornevoy gubkoy [Diagnosis of Conk Pine Cultures with Pine Fungus]. *Zashchita lesa ot vreditel'nykh i bolezney* [Forest Pests and Diseases Protection]. Moscow, 1980, pp. 192–201.

12. Storozhenko V.G. *Evolyutsionnye printsipy povedeniya derevorazrushayushchikh gribov v lesnykh biogeotsenozakh* [Evolutionary Behavior Principles of Wood-Destroying Fungi in Forest Biogeocenoses]. Tula, 2014. 184 p.
13. Fedorov N.I. *Kornevye gnili khvoynykh porod* [Root Rot of Coniferous Species]. Moscow, 1984. 160 p.
14. Churakov B.P., Alekseev I.A., Churakov D.B. *Lesnaya fitopatologiya: ucheb.* [Forest Phytopathology]. Ulyanovsk, 2013. 476 p.
15. Churakov B.P., Bityaev S.G. K voprosu vozmozhnosti estestvennogo vobnovleniya v ochagakh kornevoy gubki [On the Issue of the Possibility of Natural Renewal in the Focus of Pine Fungus]. *Monitoring i biologicheskie metody kontrolya vreditel'ey i patogenov drevesnykh rasteniy: ot teorii k praktike: vseros. konf. s mezhdunar. uchastiem, Moskva, 18–11 apr. 2016 g.* [Monitoring and Biological Controlling Methods of Pests and Pathogens of Woody Plants: Bedside Approach: All-Russ. Conf. with Intern. Part., Moscow, 18–11 April 2016]. Moscow, 2016, pp. 249–250.
16. Churakov B.P., Maslov V.D., Churakov R.A. Vliyanie kornevoy gubki na drevesnyuyu produktsiyu sosny v ochagakh bolezni [The Influence of Root Sponge on the Pine Wood Products in the Focus of Disease]. *Vestnik Ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy], 2013, no. 4, pp. 59–66.
17. Korhonen K. Intersterility Groups of *Heterobasidion annosum*. *Commun. Inst. Forest. Fenn.*, 1978, vol. 94, pp. 1–25.
18. Korhonen K. Fungi Belonging to the Genera *Heterobasidion* and *Armillaria* in Eurasia. *Proc. 6th Intern. Conf. "Problems of Forest Phytopathology and Mycology"*. Moscow; Petrozavodsk, 2004, pp. 89–114.
19. Steinlid J., Rayner A.D.M. Environmental and Endogenous Controls of Developmental Pathways: Variation and ITS Significance in the Forest Pathogen, *Heterobasidion annosum*. *New Phytol.*, 1989, vol. 113, no. 3, pp. 245–258.
20. Woodward S., Steinlid J., Karjalainen R. *Heterobasidion Annosum: Biology, Ecology, Impact and Control*. New York, USA, 1998. 589 p.

Received on January 14, 2017

УДК 630*232.12:582.475.2

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.57

СОДЕРЖАНИЕ КРАХМАЛА В ТКАНЯХ ПОБЕГОВ РАЗНЫХ ВИДОВ ЕЛИ (*PICEA A. DIETR.*) В УСЛОВИЯХ ИНТРОДУКЦИИ

Н.Н. Бессчетнова¹, д-р с.-х. наук, доц.

В.П. Бессчетнов¹, д-р биол. наук, проф.

А.В. Кулькова¹, асп.

И.В. Мишукова², вед. биолог

¹Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия, пр. Гагарина, д. 97, г. Нижний Новгород, Россия, 603107; e-mail: lesfak@bk.ru

²Ботанический сад Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского, ул. Ботанический Сад, д. 1, г. Нижний Новгород, Россия, 603062; e-mail: mishukowa.ir@yandex.ru

Интродукция является одним из наиболее эффективных методов пополнения местной дендрофлоры ценными видами растений. Для диагностики успешности интродукции растений необходимо выяснить природу их адаптации в новых условиях произрастания. Весьма значимыми для оценки акклиматизации растений являются состав и соотношение запасных веществ и метаболитов в клетках тканей. Из запасных питательных веществ наиболее важен для развития древесных растений крахмал. Повышение температуры значительно влияет на содержание этого питательного вещества. Увеличение содержания крахмала в клетках тканей связано с выходом растений из состояния покоя и подготовкой к вегетационному периоду. Исследована биологическая специфичность 13 видов ели, интродуцированных в Нижегородскую область. Установлена их неоднородность по содержанию крахмала в клетках тканей годичных побегов, что может иметь адаптационное значение. Содержание крахмала в клетках тканей годичных побегов выявляли цветной реакцией с раствором Люголя. Срезы после окрашивания соответствующими реактивами и фиксации анализировали с помощью микроскопа «Микмед-2». Оценку содержания запасных веществ на поперечном срезе побега давали по каждой учетной зоне отдельно и в сумме баллов по всем учетным зонам. Статистический и дисперсионный анализы выполняли по общепринятым методикам. По каждому ботаническому виду, включенному в схему анализа, вычисляли средние значения. Соотношение между видами рода ель по содержанию крахмала в разных тканях было неодинаковым. Различия между интродуцентами проявились на выровненном фоне экологических условий. Дисперсионный анализ подтвердил существование различий, обнаруженных между исследованными видами ели, в содержании крахмала.

Ключевые слова: ель, интродукция, адаптация, резистентность, крахмал, ткани побегов.

Для цитирования: Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Кулькова А.В., Мишукова И.В. Содержание крахмала в тканях побегов разных видов ели (*Picea A. Dietr.*) в условиях интродукции // Лесн. журн. 2017. № 4. С. 57–68. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.57

Введение

Интродукция как одна из традиционных в лесном хозяйстве сфер практической деятельности сохраняет свою актуальность и на современном этапе. Большой опыт в направлении активного привлечения многочисленных видов ели в состав различных по целевому назначению и конструкции искусственных насаждений накоплен в Среднем Поволжье, в частности в Нижегородской области [8, 9]. Здесь проходит граница естественных ареалов елей европейской и сибирской, сосредоточены значительные площади естественных еловых насаждений, создано большое количество лесных культур, защитных насаждений и озеленительных посадок этой породы. Широкие возможности применения результатов интродукции в лесокультурном производстве Нижегородской области во многом обусловлены тем, что на ее территории представлена значительная часть лесотипологического разнообразия России, поскольку здесь можно встретить основные природные зоны. В такой ситуации ресурсы адаптации видов неодинаковы, что при организации их изучения выдвигает в число задач оценку соответствия их биологии существующим природным условиям. Привлечение для этих целей методов гистохимических исследований принято достаточно широко [1, 10]. Признаки физиологического состояния растений (морозостойкость, сроки выхода из состояния покоя, скорость роста, сроки макро- и микроспорогенеза и др.) определяют приспособленность организма к среде и его выживаемость [4, 5, 7, 19, 21]. Наличие крахмала в тканях побегов связывают с устойчивостью растений к неблагоприятным зимним условиям. Исследования в территориальном плане по этому направлению проводятся широко и достаточно активно [13–20, 22–25].

С учетом вышеизложенных фактов была определена цель исследований – выявление факта наличия и оценка масштаба межвидовой изменчивости содержания крахмала в тканях побегов различных видов, входящих в таксономическую систему рода ель, для установления видов и форм, наиболее приспособленных к существующему экологическому фону.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования служили посадки 13 видов и форм ели, представленных в интродукционной коллекции ботанического сада Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского. Предметом исследования являлась изменчивость содержания крахмала в тканях побегов интродуцированных и аборигенных видов рода ель. Методологической основой работы выступал принцип единственного логического различия, согласно которому в сравнениях участвовали одновозрастные растения, в пределах опытного участка обеспечивалась элиминация дифференцирующего влияния факторов среды, способных вызвать возникновения флуктуаций в проявлениях анализируемых показателей.

Первичная лесоводственная информация была получена в ходе реализации полевых стационарных и лабораторных методов исследования с привлечением

общеизвестных методических схем организации работ и построения выборок. В составе обследованного пицетума представлены 13 видов и форм рода ель, различающиеся своими ареалами. Их размещение в границах участка рендомизировано. В рамках проводимого исследования им были присвоены следующие условные обозначения: вид 1 – ель Глена (*Picea glehnii* (F. Schmidt) Mast.); вид 2 – ель канадская (*Picea glauca* (Moench) Voss); вид 3 – ель шероховатая (*Picea asperata* Masters); вид 4 – ель черная (*Picea mariana* Mill., Britton, Sterns & Poggenburg); вид 5 – ель колючая, форма серебристая (*Picea pungens* Engelm., f. *argentea*); вид 6 – ель колючая, форма голубая (*Picea pungens* Engelm., f. *glauca*); вид 7 – ель сербская (*Picea omorika* (Pančić) Purk.); вид 8 – ель обыкновенная (*Picea abies* (L.) N. Karst.); вид 9 – ель Энгельмана (*Picea engelmannii* Parry ex Engelm.); вид 10 – ель колючая (*Picea pungens* Engelm.); вид 11 – ель аянская (*Picea jezoensis* (Siebold & Zucc.) Carrière); вид 12 – ель корейская (*Picea koraiensis* Nakai); вид 13 – ель сибирская (*Picea obovata* Ledeb.).

В рабочую группу включены только одновозрастные деревья, имеющие одинаковую площадь питания и прочие равные условия произрастания. Количество учетных растений в пределах вида составляло от 1 до 4 в соответствии с их онтогенетической однотипностью и сохранностью на коллекционном участке. С каждого учетного растения заготовлено по 5 нормально развитых однолетних побегов, равномерно размещенных на периферии среднего яруса хорошо освещенного участка кроны. Всего протестировано 145 образцов, заготовленных в марте 2016 г.

Первичной единицей выборки в гистохимическом опыте была принята разовая фиксация количества крахмала в учетной ткани побега на временных препаратах поперечных срезов из средней части годового прироста. Срезы после окрашивания и фиксации анализировали с помощью микроскопа «Микмед-2». Для анализа и количественной оценки были выделены следующие учетные зоны [3, 7]: сердцевина, перимедуллярная зона ксилемы, сердцевинные лучи, ранняя ксилема, поздняя ксилема, смоляные ходы ранней ксилемы, смоляные ходы поздней ксилемы, смоляные ходы флоэмы, прикамбиальная зона флоэмы, прифеллогенная зона флоэмы, средняя зона флоэмы, корковая зона (зона паренхимных клеток, лежащая на периферии побега между феллогеном и внешней границей побега). Крахмал выявляли цветной реакцией на раствор Люголя [10, 12] и оценивали его содержание в условных баллах по предложенной нами [3, 7] шкале:

0 – крахмал отсутствует полностью, т. е. не удастся обнаружить ни одного крахмального зерна ни в одной клетке учетной зоны ткани;

1 – крахмал в ограниченном количестве присутствует в единичных (до 10 %) клетках учитываемой ткани;

2 – крахмал присутствует в меньшем, чем половина, числе клеток, окрашенные крахмальные зерна удастся зафиксировать примерно у 20...30 % клеток;

3 – крахмал фиксируется примерно в половине (40...60 %) всех учитываемых клеток ткани;

4 – крахмал отмечается в большей части (70...90 %) клеток;

5 – крахмал в большом количестве присутствует во всех клетках (100 %) учитываемой ткани.

Оценку давали по каждой учетной ткани отдельно и в сумме баллов по всем учетным зонам. По каждому ботаническому виду, включенному в схему анализа, вычисляли средние значения. В качестве контроля визирования использовали неокрашенные срезы, не подвергавшиеся воздействию тестирующих реагентов [2, 3, 7]. С ними сравнивали срезы, обработанные соответствующими реактивами. Окраска их клеток указывает на отсутствие запасных веществ. Гистохимический анализ выполняли в лаборатории кафедры лесных культур Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии, статистический и дисперсионный анализы – по общепринятым схемам, а также с применением алгоритмов, разработанных авторами [6, 7]. Для оценки уровней изменчивости анализируемых показателей использовали шкалу С.А. Мамаева [11].

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе проведения опытов установлены хорошо заметные различия между анализируемыми видами ели по содержанию крахмала в клетках тканей 1-летних побегов (табл. 1–3).

Таблица 1

Статистики суммарного содержания крахмала в 1-летних побегах

Вариант	Счет	Среднее	СКО	max	min	Δ_{lim}	$\pm m$	Cv, %	t_{05}	P, %
1	10	7,55	0,69	8,50	6,50	2,00	0,22	9,07	34,85	2,87
2	15	9,53	0,79	10,50	7,50	3,00	0,20	8,28	46,75	2,14
3	10	9,00	0,53	10,00	8,50	1,50	0,17	5,86	54,00	1,85
4	5	7,00	0,35	7,50	6,50	1,00	0,16	5,05	44,27	2,26
5	5	7,90	0,55	8,50	7,00	1,50	0,24	6,93	32,25	3,10
6	5	9,20	0,76	10,00	8,00	2,00	0,34	8,24	27,13	3,69
7	5	8,60	0,74	9,50	7,50	2,00	0,33	8,62	25,93	3,86
8	20	8,40	0,62	9,50	7,50	2,00	0,14	7,38	60,61	1,65
9	15	8,47	0,97	10,00	7,00	3,00	0,25	11,48	33,73	2,96
10	20	9,28	0,75	11,00	8,00	3,00	0,17	8,11	55,18	1,81
11	20	9,10	0,68	10,50	8,00	2,50	0,15	7,48	59,80	1,67
12	10	7,80	1,64	10,50	5,50	5,00	0,52	20,98	15,07	6,63
13	5	9,20	0,91	10,50	8,00	2,50	0,41	9,87	22,65	4,42
Total	145	8,68	1,04	11,00	5,50	5,50	0,09	11,93	100,95	0,99

Примечание. Здесь и далее, в табл. 2, 3, использованы сокращенные обозначения статистик: СКО – среднееквадратическое отклонение; max – максимальное значение анализируемого показателя; min – минимальное значение анализируемого показателя; Δ_{lim} – размах изменчивости, или диапазон значений анализируемого показателя; $\pm m$ – ошибка репрезентативности выборочного среднего (абсолютная ошибка); Cv, % – коэффициент изменчивости значений анализируемого показателя; t_{05} – критерий Стьюдента при 5 %-м уровне значимости; P – точность опыта, или относительная ошибка (номер варианта совпадает с порядковым номером вида).

Таблица 2

Статистики содержания крахмала в сердцевине 1-летних побегов

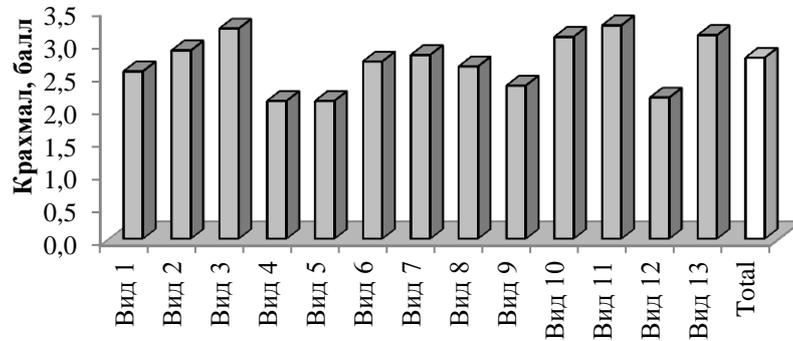
Вариант	Счет	Среднее	СКО	max	min	Δ_{lim}	$\pm m$	Cv, %	t_{05}	P, %
1	10	1,75	0,26	2,00	1,50	0,50	0,08	15,06	21,00	4,76
2	15	2,57	0,37	3,00	2,00	1,00	0,10	14,48	26,75	3,74
3	10	2,15	0,47	3,00	1,50	1,50	0,15	22,06	14,33	6,98
4	5	1,60	0,42	2,00	1,00	1,00	0,19	26,15	8,55	11,69
5	5	2,20	0,27	2,50	2,00	0,50	0,12	12,45	17,96	5,57
6	5	2,60	0,65	3,00	1,50	1,50	0,29	25,07	8,92	11,21
7	5	2,20	0,27	2,50	2,00	0,50	0,12	12,45	17,96	5,57
8	20	2,00	0,32	2,50	1,50	1,00	0,07	16,22	27,57	3,63
9	15	2,37	0,58	3,00	1,50	1,50	0,15	24,57	15,76	6,34
10	20	2,53	0,41	3,00	2,00	1,00	0,09	16,35	27,36	3,66
11	20	1,95	0,48	3,00	1,50	1,50	0,11	24,82	18,02	5,55
12	10	1,90	0,52	2,50	1,00	1,50	0,16	27,18	11,64	8,59
13	5	2,20	0,45	2,50	1,50	1,00	0,20	20,33	11,00	9,09
Total	145	2,18	0,51	3,00	1,00	2,00	0,04	23,38	51,50	1,94

Таблица 3

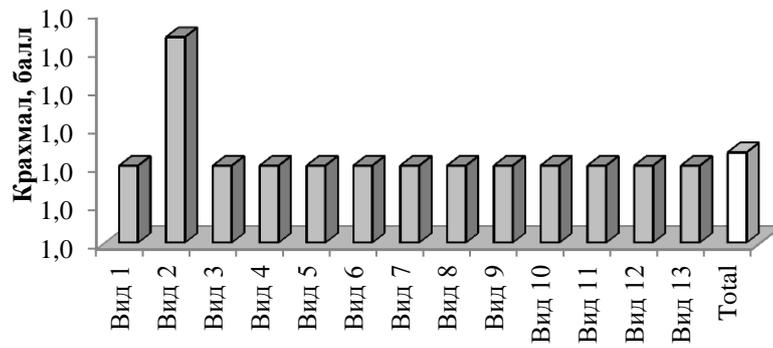
Статистики содержания крахмала в сердцевинных лучах

Вариант	Счет	Среднее	СКО	max	min	Δ_{lim}	$\pm m$	Cv, %	t_{05}	P, %
1	10	1,20	0,26	1,50	1,00	0,50	0,08	21,52	14,70	6,80
2	15	1,77	0,32	2,50	1,50	1,00	0,08	18,11	21,38	4,68
3	10	1,60	0,21	2,00	1,50	0,50	0,07	13,18	24,00	4,17
4	5	1,30	0,27	1,50	1,00	0,50	0,12	21,07	10,61	9,42
5	5	1,50	0,00	1,50	1,50	0,00	0,00	0,00	99(9)	0,00
6	5	1,70	0,27	2,00	1,50	0,50	0,12	16,11	13,88	7,20
7	5	1,40	0,22	1,50	1,00	0,50	0,10	15,97	14,00	7,14
8	20	1,70	0,25	2,00	1,50	0,50	0,06	14,78	30,25	3,31
9	15	1,67	0,36	2,00	1,00	1,00	0,09	21,71	17,84	5,61
10	20	1,60	0,26	2,00	1,00	1,00	0,06	16,35	27,36	3,66
11	20	1,83	0,24	2,00	1,50	0,50	0,05	13,41	33,36	3,00
12	10	1,70	0,35	2,00	1,00	1,00	0,11	20,56	15,38	6,50
13	5	1,70	0,27	2,00	1,50	0,50	0,12	16,11	13,88	7,20
Total	145	1,63	0,31	2,50	1,00	1,50	0,03	19,16	62,84	1,59

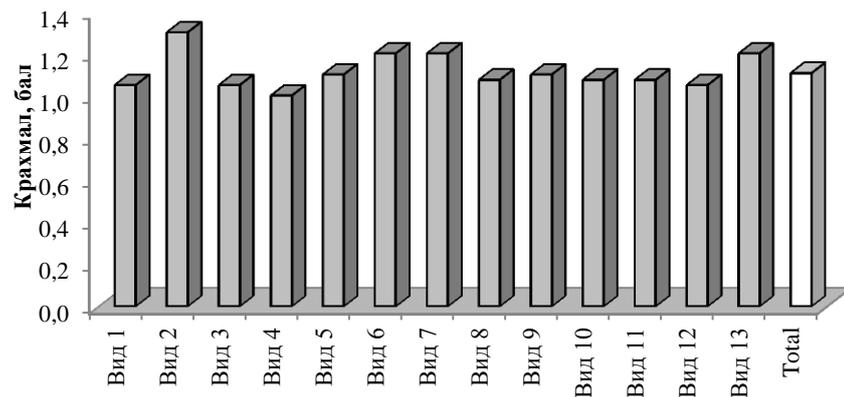
Полученный в ходе статистической обработки материал достоверен и вполне надежен. Опытные t-критерии Стьюдента намного превышают критическое значение, равное 1,96 при 5 %-м уровне значимости. Показатели точности опыта (относительная ошибка P) в анализе суммарного количества крахмала не преодолевают допустимый уровень в 5 %. Вместе с тем в анализе содержания крахмала по отдельным тканям в ряде случаев они оказываются выше указанного предела, что связано с ограниченным числом определений при существующем уровне дисперсии признаков.



a



b



в

Соотношение между видами ели по содержанию крахмала в тканях годичных побегов: *a* – флоэма; *b* – феллоген; *в* – корка

Оценки изменчивости анализируемых показателей по шкале С.А. Мамаева в обобщенном массиве данных соответствуют низкому и среднему уровню: суммарное содержание крахмала $C_v = 11,93\%$ (низкий); содержание крахмала в сердцевине $C_v = 23,38\%$ (средний); содержание крахмала в сердцевинных лучах $C_v = 19,16\%$ (средний).

В анализируемом составе видов ели средние значения изучаемых характеристик были достаточно стабильны. В частности, по суммарному содержанию крахмала наибольшее среднее превосходило наименьшее в 1,36 раза; по содержанию крахмала в сердцевине – в 1,62 раза; по содержанию крахмала в сердцевинных лучах – в 1,52 раза. Соотношение абсолютных значений указанных показателей было несколько выше и соответственно составляло: в 2,0; 3,0 и 2,5 раза.

Наглядное представление о соотношении между рассматриваемыми видами ели по показателю наличия крахмала в разных тканях 1-летних побегов дают диаграммы (см. рисунок). Зафиксированные между исследуемыми видами различия в содержании крахмала в тканях побегов проявились на фоне выровненных условий произрастания, что позволяет признать причиной их возникновения межвидовую изменчивость.

Достоверность указанных различий была подтверждена результатами однофакторного дисперсионного анализа (табл. 4).

Таблица 4

Существенность различий между видами ели по содержанию крахмала

Учетные ткани побегов	Критерий Фишера		Доля влияния фактора ($h^2 \pm s_{h^2}$)				Критерий существенности различий	
			по Плохинскому		по Снедекору			
	F_{01}	F_{05}	h^2	$\pm s_{h^2}$	h^2	$\pm s_{h^2}$	HCP_{05}	D_{05}
Суммарное содержание	8,05	1,83	0,4225	0,0525	0,3929	0,0552	0,697	1,195
Сердцевина	5,26	1,83	0,3237	0,0615	0,2814	0,0653	0,371	0,636
Сердцевинные лучи	4,38	1,83	0,2848	0,0650	0,2369	0,0694	0,235	0,402
Флоэма	8,78	1,83	0,4439	0,0506	0,4168	0,0530	0,380	0,651
Феллоген	0,70	1,83	0,0602	0,0854	–	–	0,036	0,061
Корка	1,75	1,83	0,1374	0,0784	–	–	0,176	0,302

Сравниваемые образцы существенно различались между собой по содержанию крахмала в большинстве изученных тканей побегов. В случаях с подтвержденной существенностью различий опытные F-критерии Фишера заметно больше соответствующих табличных значений при 5 %-м уровне значимости.

Не установлено наличие существенных различий по содержанию крахмала в феллогене и корковой зоне. Здесь значения критерия Фишера оказались меньше критических значений. Влияние собственно различий между видами в вариантах опыта с подтвержденной существенностью различий достоверно и значительно. Суммарное содержание крахмала в тканях побегов в расчетах

по алгоритму Плохинского составило $(42,25 \pm 5,25)$ %. А эффект по ряду тканей был несколько ниже: $(32,37 \pm 6,15)$ % (сердцевина) и $(28,48 \pm 6,50)$ % (сердцевинные лучи). При этом оценки по флоэме оказались выше: $(44,39 \pm 5,06)$ %. Во всех вариантах опыта замечено преобладающее влияние факторов среды, которое формирует остаточную дисперсию. На его долю приходится от 55,61 % (флоэма) до 93,98 % (феллоген) общего эффекта.

Оценки, полученные с помощью алгоритма Снедекора, оказались близкими по значениям. Критерии существенности различий (HCP_{05} и D_{05}) позволяют установить, между какими именно видами различия по анализируемым показателям (см. табл. 1–3) могут быть причислены к категории существенных. В частности, по суммарному содержанию крахмала ель черная существенно отличалась от остальных 9 видов, участвующих в испытании. Ели Глена и корейская имели по 6 существенных различий с другими видами. Оставшиеся виды более сходны между собой по данному показателю. Так, ели сербская, европейская и Энгельмана проявили существенные различия только в одном случае их парных сравнений с другими.

Заключение

Полученный материал позволил выделить группы наиболее сходных ранней весной по физиологическому состоянию видов елей. Данный показатель является индикатором завершения сроков заготовки черенков елей для размножения. Известно, что одревесневшие черенки демонстрируют более высокие темпы укоренения при их заготовке в состоянии покоя. Очевидно, что виды, обладающие в середине марта достаточно высоким запасом крахмала, характеризуются более ранними сроками начала вегетации и, следовательно, более ранними сроками завершения заготовки черенков. К таким отнесены следующие виды ели: канадская (*Picea glauca* (Moench) Voss); шероховатая (*Picea asperata* Masters); колючая, форма голубая (*Picea pungens* Engelm., f. *glauca*); колючая (*Picea pungens* Engelm.); аянская (*Picea jezoensis* (Siebold & Zucc.) Carrière); сибирская (*Picea obovata* Ledeb.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барская Е.И. Изменения хлоропластов и вызревание побегов в связи с морозостойкостью древесных растений. М.: Наука, 1967. 223 с.
2. Бессчетнова Н.Н. Сравнительная оценка плюсовых деревьев сосны обыкновенной по содержанию крахмала в побегах // Вестн. МарГТУ. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2010. № 2(9). С. 49–56.
3. Бессчетнова Н.Н. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). Селекционный потенциал плюсовых деревьев. Саарбрюккен: Lap Lambert Academic Publishing, 2011. 402 с.
4. Бессчетнова Н.Н. Содержание жиров в клетках побегов плюсовых деревьев сосны обыкновенной // Лесн. журн. 2012. № 4. С. 48–55. (Изв. высш. учеб. заведений).

5. Бессчетнов В.П., Бессчетнова Н.Н. Образование и лигнификация ксилемы плюсовых деревьев сосны обыкновенной // Лесн. журн. 2013. № 2. С. 45–52. (Изв. высш. учеб. заведений).
6. Бессчетнов В.П., Бессчетнова Н.Н., Храмова О.Ю., Орнатский А.Н., Горелов Н.И. Дисперсионный анализ многоуровневых иерархических комплексов: метод. указания для студ. и асп. Н. Новгород: НГСХА, 2012. 33 с.
7. Бессчетнова Н.Н. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). Эффективность отбора плюсовых деревьев: моногр. Н. Новгород: Нижегород. ГСХА, 2016. 464 с.
8. Воробьев Р.А., Тебенькова Д.Н. Развитие вегетативных и генеративных органов представителей рода ель (*Picea* L.), интродуцированных в Нижегородской области // Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 2013. № 7. С. 97–105.
9. Воробьев Р.А., Тебенькова Д.Н. Содержание основных пигментов в однолетней и двухлетней хвое интродуцентов рода ель (*Picea* L.) в условиях подзоны южной тайги (на примере Нижегородской области) // Лесоведение. 2013. № 3. С. 8–15.
10. Гродзинский А.М., Гродзинский Д.М. Краткий справочник по физиологии растений. Киев: Наук. думка, 1964. 288 с.
11. Мамаев С.А. О проблемах и методах внутривидовой систематики растений. II. Амплитуда изменчивости // Закономерности формообразования и дифференциации вида у древесных растений: тр. Ин-та экологии растений и животных Урал. фил. АН СССР. Свердловск, 1969. Вып. 64. С. 3–38.
12. Прозина М.Н. Ботаническая микротехника: учеб. пособие. М.: Высш. шк., 1960. 205 с.
13. Andersone U., Ievinsh G. Changes of Morphogenic Competence in Mature *Pinus sylvestris* L. Buds *in vitro*. Ann. Bot., 2002. Vol. 90, no. 2, pp. 293–298. DOI: 10.1093/aob/mcf176
14. Bergström B. Chemical and Structural Changes during Heartwood Formation in *Pinus sylvestris* // Forestry. 2003. Vol. 76, no. 1. Pp. 45–53. DOI: 10.1093/forestry/76.1.45.
15. Brahim B.M., Loustau D., Gaudillère J.P., Saur E. Effects of Phosphate Deficiency on Photosynthesis and Accumulation of Starch and Soluble Sugars in 1-Year-Old Seedlings of Maritime Pine (*Pinus pinaster* Ait) // Ann. Sci. For. 1996. Vol. 53, no. 4. Pp. 801–810. DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/forest:19960401>
16. Ericsson A., Lindgren A., Mattsson A. Effects of Cold-Storage and Planting Date on Subsequent Growth, Starch and Nitrogen Content in Scots Pine (*Pinus sylvestris*) and Norway Spruce (*Picea abies*) Seedlings // Studia Forestalia Suecica. 1983. No. 165. Pp. 1–17.
17. Jiménez M.D., Pardos M., Puértolas J., Kleczkowski L.A., Pardos J.A. Deep Shade Alters the Acclimation Response to Moderate Water Stress in *Quercus suber* L. // Forestry. 2009. Vol. 82, no. 3. Pp. 285–298. DOI: 10.1093/forestry/cpp008
18. Kakei M., Clifford P.E. Effects of Lime Application and Test Branch Position on ¹⁴C-Photosynthate Partitioning in 3-Year-Old Sitka Spruce (*Picea sitchensis*) Plants Growing in Pots Containing Peat Soils // Forestry. 1999. Vol. 72, no. 3. Pp. 223–235. DOI: 10.1093/forestry/72.3.223
19. Ludlow A.R. Some Factors Influencing the Increment of Forests // Forestry. 1997. Vol. 70, no. 4. Pp. 381–388. DOI: 10.1093/forestry/70.4.381
20. Mencuccini M., Hölttä T. The Significance of Phloem Transport for the Speed with which Canopy Photosynthesis and Belowground Respiration are Linked // New Phytol. 2010. Vol. 185, no. 1. Pp. 189–203. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2009.03050.x
21. Mencuccini M., Hölttä T., Sevanto S., Nikinmaa E. Concurrent Measurements of Change in the Bark and Xylem Diameters of Trees Reveal a Phloem-Generated Turgor Signal // New Phytol. 2013. Vol. 198, no. 4. Pp. 1143–1154. DOI: 10.1111/nph.12224

22. Pardos M., Royo A., Gil L., Pardos J.A. Effect of Nursery Location and Outplanting Date on Field Performance of *Pinus halepensis* and *Quercus ilex* Seedlings // Forestry. 2003. Vol. 76, no. 1. Pp. 67–81. DOI: 10.1093/forestry/76.1.67

23. Rodríguez-Calcerrada J., Pardos J.A., Aranda I. Contrasting Responses Facing Peak Drought in Seedlings of Two Co-Occurring Oak Species // Forestry. 2010. Vol. 83, no. 4. Pp. 369–378. DOI:10.1093/forestry/cpq019

24. Schaberg P.G., Snyder M.C., Shane J.B., Donnelly J.R. Seasonal Patterns of Carbohydrate Reserves in Red Spruce Seedlings // Tree Physiology. 2000. Vol. 20, no. 8. Pp. 549–555.

25. Woodruff D.R., Meinzer F.C. Water Stress, Shoot Growth and Storage of Non-structural Carbohydrates Along a Tree Height Gradient in a Tall Conifer // Plant, Cell & Environment. 2011. Vol. 34, no. 11. Pp. 1920–1930. DOI: 10.1111/j.1365-3040.2011.02388.x

Поступила 19.03.17

UDC 630*232.12:582.475.2

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.57

Starch Content in Shoot Tissues of Different Spruce Species (*Picea* A. Dietr.) in Introduction

*N.N. Besschetnova*¹, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor

*V.P. Besschetnov*¹, Doctor of Biological Sciences, Professor

*A.V. Kul'kova*¹, Postgraduate Student

*I.V. Mishukova*², Leading Biologist

¹State agricultural academy of Nizhny Novgorod, pr. Gagarina, 97, Nizhny Novgorod, 603107, Russian Federation; e-mail: lesfak@bk.ru

²Botanical Garden of the N.I. Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, ul. Botanicheskiy Sad, 1, Nizhny Novgorod, 603062, Russian Federation; e-mail: mishukova.ir@yandex.ru

Introduction is one of the most effective methods of afterculture of local dendroflora with valuable plant species. To diagnose the success of plants introduction we should clarify the nature of their adaptation to the new growth conditions. The composition and the ratio of reserve constituents and metabolites in tissue cells are highly important for assessing the plant establishment. Starch is the most important reserve constituent in the development of woody plants. The increase of temperature significantly affects the content of this nutrient. The increase of the starch content of tissue cells is associated with the release of plants from quiescence and preparation for the growing season. We have investigated the biological specificity of 13 spruce species, introduced in the Nizhny Novgorod region, and have established their heterogeneity in the starch content in tissue cells of the annual shoots, which could have the adaptation significance. Determination of starch in tissue cells of the annual shoots was detected by the Lugol staining reaction. Sections after staining with appropriate reagents and fixation were analyzed using a micrometer "Mikmed-2". The estimation of the content of reserve

For citation: Besschetnova N.N., Besschetnov V.P., Kul'kova A.V., Mishukova I.V. Starch Content in Shoot Tissues of Different Spruce Species (*Picea* A. Dietr.) in Introduction. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 4, pp. 57–68. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.57

constituents on the transverse section of the shoot was given for each accounting area separately and in the score in all accounting areas. Statistical and dispersion analyses were performed according to the common methods. We calculated the mean values for each botanical species included in the analysis scheme. The ratio between the species of the genus Spruce by the starch content in different tissues was not the same. The differences between the exotic species appeared under the same environmental conditions. The variance analysis confirmed the significance of differences between the studied spruce species in the starch content.

Keywords: spruce, introduction, adaptation, resistance, starch, shoot tissue.

REFERENCES

1. Barskaya E.I. *Izmeneniya khloroplastov i vyzrevanie pobegov v svyazi s morozoustoychivost'yu drevesnykh rasteniy* [Chloroplast Changes and Shoots Ripening Due to the Frost Resistance of Woody Plants]. Moscow, 1967. 223 p.
2. Besschetnova N.N. Sravnitel'naya otsenka plyusovykh derev'ev sosny obyknovennoy po sodержaniyu krakhmala v pobegakh [Comparative Estimation of Starch Content in the Sprouts of Scotch Pine Plus-Trees]. *Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie* [Vestnik of Mari State Technical University. Series "Forest. Ecology. Nature management"], 2010, no. 2(9), pp. 49–56.
3. Besschetnova N.N. *Sosna obyknovennaya (Pinus sylvestris L.). Selektionnyy potentsial plyusovykh derev'ev* [Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.). Breeding Potential of Plus-Trees]. Saarbrücken, Germany, 2011. 402 p.
4. Besschetnova N.N. Soderzhanie zhirov v kletkakh pobegov plyusovykh derev'ev sosny obyknovennoy [Fat Content in Shoot Cells of Scotch Pine Elite Trees]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2012, no. 4, pp. 48–55.
5. Besschetnov V.P., Besschetnova N.N. Obrazovanie i lignifikatsiya ksilemy plyusovykh derev'ev sosny obyknovennoy [Formation and Lignification of Xylem of Scotch Pine Elite Trees]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2013, no. 2, pp. 45–52.
6. Besschetnov V.P., Besschetnova N.N., Khramova O.Yu., Ornatskiy A.N., Gorelov N.I. *Dispersionnyy analiz mnogourovnevnykh ierarkhicheskikh kompleksov: metod. ukazaniya dlya stud. i asp.* [Dispersion Analysis of Multilevel Hierarchical Complexes]. Nizhny Novgorod, 2012. 33 p.
7. Besschetnova N.N. *Sosna obyknovennaya (Pinus sylvestris L.). Effektivnost' otbora plyusovykh derev'ev: monogr.* [Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.). The Efficiency of Selection of Plus-Trees]. Nizhny Novgorod, 2016. 464 p.
8. Vorob'ev R.A., Teben'kova D.N. Razvitie vegetativnykh i generativnykh organov predstaviteley roda el' (*Picea* L.), introdutsirovannykh v Nizhegorodskoy oblasti [Results for the Development Phenological Observations of Vegetative and Generative Organs of Representatives of Spruce (*Picea* L.) Introduced in Nizhny Novgorod Region]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik* [Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoy Vestnik], 2013, no. 7, pp. 97–105.
9. Vorob'ev R.A., Teben'kova D.N. Soderzhanie osnovnykh pigmentov v odnoletney i dvukhletney khvoe introdutsentov roda el' (*Picea* L.) v usloviyakh podzony yuzhnoy taygi (na primere Nizhegorodskoy oblasti) [The Main Pigment Content in Needles of Introduced Spruce in the Southern Taiga (Nizhny Novgorod Region)]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2013, no. 4, pp. 22–31.
10. Grodzinskiy A.M., Grodzinskiy D.M. *Kratkiy spravochnik po fiziologii rasteniy* [A Quick Reference Guide on Plant Physiology]. Kiev, 1964. 288 p.
11. Mamaev S.A. O problemakh i metodakh vnutrividovoy sistematiki drevesnykh rasteniy. II. Amplituda izmenchivosti [On the Problems and Methods of Intraspecific

Systematics of Plants. II. Amplitude of Variability]. *Zakonomernosti formoobrazovaniya i differentsiatsii vida u drevesnykh rasteniy: Trudy instituta ekologii rasteniy i zhivotnykh Ural'skogo filiala AN SSSR* [Patterns of Species Formation and Species Differentiation in Woody Plants: Proc. Institute of Ecology of Plants and Animals of the Ural Branch of the Academy of Sciences of the USSR]. Sverdlovsk, 1969, iss. 64, pp. 3–38.

12. Prozina M.N. *Botanicheskaya mikrotehnika: ucheb. posobie* [Botanical Micro-engineering]. Moscow, 1960. 205 p.

13. Andersone U., Ievinsh G. Changes of Morphogenic Competence in Mature *Pinus sylvestris* L. Buds *in vitro*. *Ann. Bot.*, 2002, vol. 90, no. 2, pp. 293–298. DOI: 10.1093/aob/mcf176.

14. Bergström B. Chemical and Structural Changes during Heartwood Formation in *Pinus sylvestris*. *Forestry*, 2003, vol. 76, no. 1, pp. 45–53. DOI: 10.1093/forestry/76.1.45.

15. Brahim B.M., Loustau D., Gaudillère J.P., Saur E. Effects of Phosphate Deficiency on Photosynthesis and Accumulation of Starch and Soluble Sugars in 1-Year-Old Seedlings of Maritime Pine (*Pinus pinaster* Ait). *Ann. Sci. For.*, 1996, vol. 53, no. 4, pp. 801–810. DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/forest:19960401>.

16. Ericsson A., Lindgren A., Mattsson A. Effects of Cold-Storage and Planting Date on Subsequent Growth, Starch and Nitrogen Content in Scots Pine (*Pinus sylvestris*) and Norway Spruce (*Picea abies*) Seedlings. *Studia Forestalia Suecia*, 1983, no. 165, pp. 1–17.

17. Jiménez M.D., Pardos M., Puértolas J., Kleczkowski L.A., Pardos J.A. Deep Shade Alters the Acclimation Response to Moderate Water Stress in *Quercus suber* L. *Forestry*, 2009, vol. 82, no. 3, pp. 285–298. DOI: 10.1093/forestry/cpp008.

18. Kakei M., Clifford P.E. Effects of Lime Application and Test Branch Position on ¹⁴C-Photosynthate Partitioning in 3-Year-Old Sitka Spruce (*Picea sitchensis*) Plants Growing in Pots Containing Peat Soils. *Forestry*, 1999, vol. 72, no. 3, pp. 223–235. DOI: 10.1093/forestry/72.3.223.

19. Ludlow A.R. Some Factors Influencing the Increment of Forests. *Forestry*, 1997, vol. 70, no. 4, pp. 381–388. DOI: 10.1093/forestry/70.4.381.

20. Mencuccini M., Hölttä T. The Significance of Phloem Transport for the Speed with which Canopy Photosynthesis and Belowground Respiration are Linked. *New Phytol.*, 2010, vol. 185, no. 1, pp. 189–203. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2009.03050.x.

21. Mencuccini M., Hölttä T., Sevanto S., Nikinmaa E. Concurrent Measurements of Change in the Bark and Xylem Diameters of Trees Reveal a Phloem-Generated Turgor Signal. *New Phytol.*, 2013, vol. 198, no. 4, pp. 1143–1154. DOI: 10.1111/nph.12224.

22. Pardos M., Royo A., Gil L., Pardos J.A. Effect of Nursery Location and Outplanting Date on Field Performance of *Pinus halepensis* and *Quercus ilex* Seedlings. *Forestry*, 2003, vol. 76, no. 1, pp. 67–81. DOI: 10.1093/forestry/76.1.67.

23. Rodríguez-Calcerrada J., Pardos J.A., Aranda I. Contrasting Responses Facing Peak Drought in Seedlings of Two Co-Occurring Oak Species. *Forestry*, 2010, vol. 83, no. 4, pp. 369–378. DOI: 10.1093/forestry/cpq019.

24. Schaberg P.G., Snyder M.C., Shane J.B., Donnelly J.R. Seasonal Patterns of Carbohydrate Reserves in Red Spruce Seedlings. *Tree Physiology*, 2000, vol. 20, no. 8, pp. 549–555.

25. Woodruff D.R., Meinzer F.C. Water Stress, Shoot Growth and Storage of Non-structural Carbohydrates Along a Tree Height Gradient in a Tall Conifer. *Plant, Cell & Environment*, 2011, vol. 34, no. 11, pp. 1920–1930. DOI: 10.1111/j.1365-3040.2011.02388.x.

Received on March 19, 2017

УДК 630*453:595.799

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.69

МЕДОПРОДУКТИВНОСТЬ РАСТИТЕЛЬНЫХ ФОРМАЦИЙ НА ЗЕМЛЯХ ЛЕСНОГО ФОНДА СТЕПНОГО ПРИДОНЬЯ

И.Д. Самсонова, д-р биол. наук, доц.

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия, 194021;

e-mail: isamsonova18@mail.ru

Для пчеловодства широкое использование потенциала растительных сообществ лесных массивов возможно потребует изучения и оценки медоносных ресурсов. В задачи исследований входило определение медопродуктивности растительных формаций на землях лесного фонда степного Придонья. Знание медосборных условий в лесном хозяйстве необходимо для планирования пчеловодства, составления плана пасечных работ на сезон, выбора метода пчеловодения и приемов ухода за пчелами, а также для того, чтобы наиболее полно использовать медоносные ресурсы и наметить пути улучшения медоносной базы. При оценке медоносных ресурсов устанавливали площади, занятые медоносными растениями, проводили учет количества медоносных деревьев и кустарников на пробных площадях маршрутным методом. Потенциальную медопродуктивность вычисляли на единице площади. Медоносные угодья и природно-климатические условия в лесном фонде степного Придонья характеризуются большой изменчивостью. В результате исследований установлено, что Ростовская область при лесистости 2,5 % располагает огромным биоресурсным потенциалом лесов для медосбора. Древесная и кустарниковая медоносная растительность (клены остролистный, татарский и полевой, липа, робиния лжеакация, груша, черешня, яблоня, абрикос, ива, кизил мужской, терн, боярышники однопестичный и алма-атинский, жимолость татарская, акация желтая, аморфа, калина обыкновенная, крушина ломкая, лох серебристый, снежнаягодник, вишня степная) произрастают в основном в лесных насаждениях, а также в байрачных и пойменных лесах. Максимальной медопродуктивностью на световых берегах характеризуются дубняки байрачные (426,4 кг/га). При этом с повышением доли кленов полевого и татарского, липы мелколистной и вяза обыкновенного увеличивается медопродуктивность угодий на единицу площади. Первое место по этому показателю занимают кленовики дубняков байрачных присетевых (369,1 кг/га). В пойменных формациях наибольшей продуктивностью обладают ветляники береговых низин (156,6 кг/га). В дубраве сухой осоковой наиболее продуктивны чистые насаждения клена полевого (1050,9 кг/га). Значимой медопродуктивностью отличаются дубово-кленовые насаждения в составе с кленом полевым (487,8 кг/га), орехово-липовые (326 кг/га), дубово-липовые в подлеске с кленом татарским (306,4 кг/га), липово-ясеньевые (421,6 кг/га). В дубраве свежей снытьево-осоковой высокую медопродуктивность показали дубово-кленовые насаждения в составе с кленом полевым (в подлеске с кленом татарским) и живой напочвенный

Для цитирования: Самсонова И.Д. Медопродуктивность растительных формаций на землях лесного фонда степного Придонья // Лесн. журн. 2017. № 4. С. 69–83. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.69

покров со снытью, звездчаткой, будрой и медуницей (603,4 кг/га). При умелом использовании медоносного потенциала лесных растений не только будет успешно развиваться доходное пчеловодство, но и будет обеспечено значительное увеличение лесного фонда южных регионов европейской части Российской Федерации.

Ключевые слова: растительные формации, медопродуктивность, байрачные леса, лесной фонд, степное Придонье.

Введение

Недревесная продукция леса, имея биологическое происхождение, включает широкий диапазон продуктов, полученных от деревьев, подлеска, грибов и животных. Лесной мед, пыльца и прополис высокого качества относятся к их числу [17, 18].

Для правильной организации кормовой базы пчеловодства и определения размеров пасеки необходимо проводить оценку местности на основании данных по видовому составу и площадям основных медоносов, их нектаропродуктивности и срокам цветения. При этом следует использовать не только карты землепользования хозяйства, таксационные описания лесного фонда, но и схемы севооборотов смежных угодий [1]. Значительная часть медоносных угодий в Российской Федерации принадлежит к разным категориям лесного фонда, на которых повсеместно произрастают многочисленные виды медоносных растений.

Для характеристики потенциальных медовых запасов на естественных и искусственных пастбищных для пчел угодьях определяют медопродуктивность медоносов [15] и выявляют площади, занятые медоносными ресурсами. Полученные данные позволяют рассчитать количество пчелиных семей, которое возможно содержать на кормовых угодьях в целях получения товарной продукции пчеловодства в виде меда, пыльцы, прополиса, маточного молочка.

П.И. Тименский [11] отмечает, что леса степной зоны, занимающие небольшие площади и расположенные в поймах рек и по балкам, как и лугопастбищные угодья, не имеют существенного значения для обеспечения пчел медосбором, хотя там встречаются неплохие медоносные растения: дикорастущие плодово-ягодные породы, ива, клен, шалфей, донник, клевер, синяк и др. В лесополосах и населенных пунктах на юге зоны встречаются ценные медоносные породы: акация белая, гледичия, дикие абрикосы, аморфа кустарниковая.

Пчелы и лесные деревья тесно связаны между собой в лесных экосистемах и прилегающих к ним землях сельскохозяйственного назначения. Пчелы сохраняют леса и сельскохозяйственные культуры путем их опыления [13], не только помогают увеличить урожай, но и обеспечивают население продуктами пчеловодства. Трансформации земель, включая предыдущее обезлесение и интенсивное культивирование, негативно сказываются на популяции насекомых и их адаптации к новым условиям окружающей среды [16].

Медосборные условия и медоносные ресурсы с течением времени претерпевают изменения и часто не в лучшую сторону. Успешное сохранение

биоразнообразия, как условие сохранения устойчивости экосистем и биосферы в целом, возможно только на основе всестороннего изучения составляющих ее видов и популяций.

Разработка новых мер по охране природы улучшает условия для функционирования всей экосистемы [14]. Продуктивность медоносов по нектару и пыльце варьируется в зависимости от различных географических районов, типа растительности, продолжительность периода цветения и климатических условий. Деревья, продуцирующие нектар (каштан конский обыкновенный, клен остролистный и др.), высаживают в парках, зеленых зонах городов Литвы, усадеб, а также возле обочин дорог [19, 20].

Устойчивое развитие пчеловодческого и лесного хозяйства в современных условиях основывается на широком использовании биологического и экологического потенциала растений и их системных образований – биоценозов. Важную роль в реализации этой задачи занимают вопросы изучения и освоения медоносных ресурсов, что в равной мере относится и к Ростовской области, где исторически сложились благоприятные ландшафтные и климатические условия для развития пчеловодства. Здесь произрастают сотни видов ценных медоносных растений. Между тем растительные ресурсы изучены недостаточно, что отрицательно сказывается на развитии пчеловодства и его продуктивности. Влажное теплое лето без сильных ветров позволяет откачивать мед из ульев до пяти раз за сезон. Однако имеется одна существенная особенность, присущая пчеловодству в степной зоне: для получения больших объемов меда необходимо вывозить пасеки на кочевку.

Отсутствие нормативной базы медопродуктивности приводит к снижению внимания руководителей лесного хозяйства к проблемам пчеловодческих хозяйств, использующих лесные угодья в качестве ресурсной базы, что отражается в огромных потерях товарного меда.

Цель исследований – определение медопродуктивности растительных формаций на землях лесного фонда степного Придонья.

Материалы и методы исследования

Оценку медоносных ресурсов выполняли с помощью маршрутно-геоботанических и стационарных исследований, используя таксационные описания лесничеств Ростовской области и картографический материал хозяйств.

Изучение медоносных растений проводили во всех типах лесной растительности, в которых они распространены. При выделении и описании типов леса использовали [3].

Для исследования видового состава медоносов в различных лесорастительных условиях и типах леса и определения медопродуктивности растительных сообществ нами были заложены пробные площади в насаждениях разного возраста в лесничествах различных районов области, представляющих интерес для пчеловодства. Пробные площади закладывали с использованием материалов лесоустроительных предприятий (планов лесонасаждений, таксационных описаний). Тип леса указывали в соответствии с таксационными описаниями.

При определении медопродуктивности лесных угодий учитывали количество медоносных деревьев и кустарников на пробных площадях. Долю участия медоноса в общем запасе насаждения рассчитывали по формуле состава. Для учета подлеска прокладывали маршрут по диагонали пробной площади, на которой закладывали учетные площадки размером 5×5 м через 40 м, на которых определяли, какую долю этой площади занимает тот или иной вид медоноса [6]. Установив количество штук подлеска на 1 га и процент встречаемости, для расчета медопродуктивности указывали категорию густоты подлеска [4].

В лесных фитоценозах для определения степени проективного покрытия травяного покрова по видам закладывали учетные площадки 1×1 м по диагоналям пробной площади с учетом их максимально равномерного размещения. Найденные площади медоносных растений умножали на медопродуктивность того или иного медоноса, определенную нами или принятую по Н.П. Смарагдовой [10].

Сахаропродуктивность (X_c) конкретного вида рассчитывали как произведение соответствующего количества сахара (a_c , мг) в нектаре одного цветка в день на число цветков на одном растении (b), затем на количество растений (n , шт.) на 1 га при сплошном покрытии и на среднюю продолжительность жизни одного цветка (v , дн.), отнесенное к $1 \cdot 10^6$ (коэффициент для перевода миллиграммов в килограммы) по формуле П.И. Нестерова [5]:

$$X_c = \frac{a_c v b n}{1 \cdot 10^6}.$$

Медопродуктивность (M) медоносных растений (угодий) на 1 га площади определяли из расчета, что 100 частей меда содержат 80 частей сахара и 20 частей воды, т. е. X_c конкретного медоносного растения на 1 га умножали на 1,25 и вычисляли потенциальную медопродуктивность на единице площади (M , кг/га) по следующей формуле:

$$M = 1,25 X_c.$$

Для упрощения расчетов использовали таксационные описания, определяя медопродуктивность древостоя по составу, подлеска – по коэффициенту встречаемости из нормативных таблиц.

Медопродуктивность древостоя

$$M = m \frac{D}{10},$$

где m – медопродуктивность 1 га при 100 %-м участии в насаждении, кг;

D – доля участия деревьев-медоносов в составе насаждения.

Результаты исследования и их обсуждение

Территория Ростовской области благодаря своему положению получает много тепла. Продолжительность солнечного сияния составляет 2000...2200 ч/год. Безморозный период на севере области длится 160...170 дн., на юге – 180...190 дн. Нарастание тепла весной идет быстро. Климат области

несомненно благоприятен для ведения пчеловодства. Для его развития важное значение имеет растительность, произрастающая на землях лесного фонда области, площадь которого по данным учета на 01.01.2012 г. составляет 344,6 тыс. га, из них 221,8 тыс. га покрыты лесом.

Естественные леса Ростовской области занимают 47,2 % лесопокрытой площади, большая их часть приурочена к понижениям в рельефе и представлена дубом черешчатым с примесью вяза, липы, березы, осины, клена и др. Основные покрытые лесом площади составляют, %: дубравы – 36, боры – 34, робиния псевдоакация – 9, другие виды (ивы, ясень, ильмовые, тополя) – около 21. Многие виды растений этих фитоценозов являются прекрасными нектаро-пыльценосами, что делает их ценными для пчеловодства [9].

Наличие байрачных лесов – характерная особенность северных, северо-восточных и западных районов области, на территории юго-западных и южных районов их нет. Эти леса встречаются в крутых глубоких балках (байраках). Исследования проводили по группам основных лесобразующих пород байрачных лесов (дубравы, кленовники, вязовники), которые представляют интерес в практическом пчеловодстве.

Наибольшей медопродуктивностью (426,4 кг/га) отличаются дубняки байрачные на световых берегах, занимающие среднюю и нижнюю часть берегов балки, где складываются наиболее благоприятные лесорастительные условия, т. е. почвенный, влажностный и температурный режим оптимальны. В дубравах байрачных на теневых берегах основной медосбор дают медоносы подлеска из клена полевого и клена татарского (188,6 кг/га). В травяном покрове медоносных растений не обнаружено.

Медопродуктивность (73,0 кг/га) в дубняках байрачных присетевых обеспечивают опушечные заросли из боярышника, терна, шиповника, вишни степной.

Таким образом, кустарниковая и травянистая растительность (ежевика, звездчатка) также образует некоторое количество нектара, может обеспечить поддерживающий медосбор в период их цветения, но не играет основной роли.

Исследования, проведенные в байрачных дубравах степной части бассейна Дона, позволяют констатировать факт закономерного увеличения роста и развития многих медоносных растений при переходе от типа леса дубняки байрачные присетевые к дубнякам байрачным на световых берегах. Следовательно, типы леса с лучшей влагообеспеченностью и хорошей освещенностью продуктивнее.

Наибольшее участие клена татарского наблюдается в лучших условиях увлажнения в дубравах байрачных на теневых склонах. Следует учитывать, что клен татарский по медопродуктивности уступает клену полемому. В результате расчетов на первом месте по продуктивности меда стоят кленовники дубняков байрачных присетевых (369,1 кг/га). Различия в медопродуктивности кленовников различных типов леса незначительны.

В подлеске значительную роль в медосборе играет терн средней густоты, но в дубняках байрачных на световых берегах коэффициент встречаемости данного представителя медоносов 40 %, на теневых – 65 % за счет благоприятных условий увлажнения. Его медопродуктивность колеблется от 20 кг/га на теневых берегах до 45 кг/га на световых берегах с лучшими условиями освещения, что сказывается на росте и интенсивности цветения терновника.

Учитывая коэффициент встречаемости и медопродуктивность на различных элементах рельефа с характерными лесорастительными условиями нами установлена медопродуктивность кустарниковых формаций терновников на световых и теневых берегах: 18,7 и 13,6 кг/га соответственно.

В живом напочвенном покрове встречаются медоносные травы – будра плющевидная, различные виды горошка, гравилат городской.

Таким образом, кленовики относятся к ценным для пчеловодства угодыям. Благодаря наличию кленов в древесном ярусе эта формация является источником обильного медосбора.

Вязовники с незначительной медопродуктивностью (106,4... 203,3 кг/га) также относятся к ценным для пчеловодства угодыям. Наибольшей медопродуктивностью среди ильмовых отличается вяз (60...80 %) в составе древостоя дубняков байрачных на теневых берегах с показателем 32,9 кг/га. Клен полевой в составе древостоя в изучаемых лесорастительных условиях вязовников улучшает общие показатели медопродуктивности (203,3 кг/га) растительной формации на присетевом склоне. Значительной медопродуктивностью отличаются медоносы подлеска на световых берегах (42,6 кг/га). Травянистая растительность под пологом и на опушках древостоя характеризуется приспособленными к условиям освещения и увлажнения почв видовым составом, встречаемостью и сахаропродуктивностью. Максимальными значениями медопродуктивности выделяются вязовники на световых берегах, где распространены тысячелистник обыкновенный (25 кг/га) и шалфей остепененный (100 кг/га).

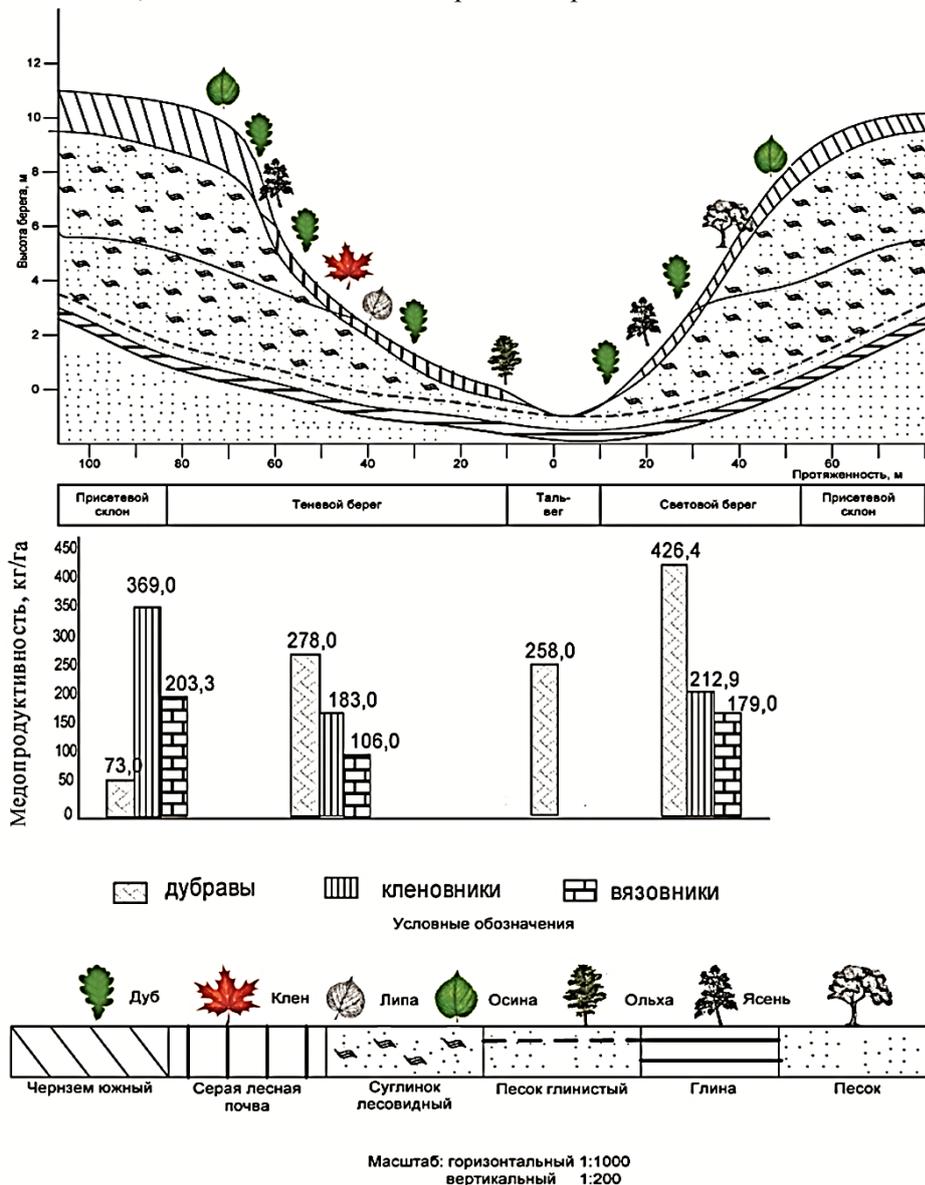
Благодаря наличию ильмовых древесный ярус этой формации является источником значительного медосбора ранней весной, в период наращивания силы пчелиной семьи.

На рисунке прослеживается динамика медопродуктивности формаций байрачных лесов на элементах байраков. За основу построения графика медопродуктивности формаций байрачных лесов была принята схема элементов байрака, предложенная Т.Я. Турчиным [12].

Кустарниковые формации, относимые к байрачной растительности, широко распространены во всех районах байрачных лесов. Среди этих формаций можно выделить терновники, вишарники, миндальники, дерезняки, спирейники, боярышники и отчасти чернокленовники (табл. 1).

Терн (слива колючая) встречается на опушках леса и образует заросли на сильно смытых эродированных склонах.

Вишарники (*Cerasus fruticosa*) занимают тот же ареал, что и терновники, но чистые их заросли встречаются гораздо реже. Наиболее обильны опушечные вишарники в Чертковском и Вешенском районах. В остальных районах они представлены изредка. Степная вишня подобно терну уходит на склоны балок, однако на дне балок встречается редко.



Медопродуктивность формаций байрачных лесов на элементах байраков

Таблица 1

Медонос	Средние сроки цветения	Сумма эффективных температур*, °С	Продолжительность жизни цветка, сут	Количество сахара, мг, выделенного одним цветком		Число цветков на одном растении, шт.	Медопродуктивность, кг/га
				за сутки	за период цветения		
Терн	20.04–21.05	116,7±1,9	3	0,306±0,04	0,918	2213	10
Вишня степная	21.04–29.04	111,8±2,2	5	1,502±0,27	7,510	123	30
Миндаль степной	23.04–30.04	118,0±3,2	4	0,296±0,04	1,184	55	15
Дереза	3.05–17.05	203,6±6,6	4	0,286±0,03	1,144	78	10
Спирея городчатая	29.04–19.05	295,0±2,8	4	0,077±0,005	0,308	53 000	35
Боярышник отогнуточашечколистниконый	26.04–7.05	270,6±3,3	2	0,193±0,09	0,386	3 162	20
Клен татарский	12.05–26.05	310,7±4,8	2	1,180±0,12	2,360	15 643	80

*С ошибкой определения.

Миндальники (*Amygdalus nana*) как опушечные заросли довольно редки на обследованной территории. Много их отмечено в Западном Верхнедонском районе. В качестве примеси к другим мелким кустарникам миндаля изредка встречается во всех районах, к югу его количество увеличивается.

Дерезняки (с доминированием *Caragana frutex*) как опушечные почти чистые заросли распространены довольно широко. Их роль сильно возрастает в центральных, южных и юго-восточных районах, где они часто являются основными опушечными формациями, особенно это характерно для Морозовского района.

Спирейники (с доминированием *Spiraea crenata*, а на юге на каменистых опушках и *S. hypericifolia*) как опушечная формация характерны только для юго-восточных районов с каменистыми выходами на лесных опушках (Каменский район). Обычно спирея образует заросли с *Caragana frutex*, отчасти – с *Amygdalus nana*.

Боярышники (с доминированием *Crataegus curvisepala*) являются особыми, очень характерными для балок формациями с выходами на поверхность мела. Как один из видов кустарникового яруса дубрав боярышник встречается во всех районах.

В результате наших исследований установлено, что различные условия произрастания, характерные для байрачных лесов, способствовали образованию большого количества (47 видов) медоносов, которые представлены древесными породами, кустарниковыми и травянистыми видами. Преобладающей породой в байрачных лесах с незначительной медопродуктивностью (5...10 кг/га) является дуб черешчатый. К нему примешиваются пыльценосы (ясень обыкновенный, осина), нектаропыльценосы (липа мелколистная, клен остролистный, вяз). Встречаются в данных условиях дикие груша и яблоня. Высокопродуктивные клены (полевой и татарский)

образуют второй ярус древостоя. Составляющими медоносами третьего яруса являются боярышник отогнуточашечколистниковый, крушина ломкая, бересклеты, барбарис, бирючина и калина обыкновенные, бузина черная, свидина кроваво-красная, терн колючий, шиповник. Четвертый (травянистый) ярус может иметь различный видовой состав медоносов: будра плющевидная, ветреница лесная, различные виды горошка, гравилат городской, дербенник иволистный, дрок красильный, лапчатка неблестящая, фиалки, чистяк весенний, шлемник высочайший и др.

Продуктивность их возрастает, если территория лесов изрезана балками, оврагами, ручьями, болотами, в лесах много полян, просек, старых вырубок и наличествует продолжительный период цветения главных медоносов.

Преобладающими породами в дубравах являются нектаропыльценосы (ива белая, липа мелколистная, вязы гладкий и полевой, дуб черешчатый) и пыльценосы (тополя белый и черный, ольха черная).

Поемные леса, распространенные в бассейне Дона и его притоках, составляют 47 % запаса лесов гослесфонда. Значительные лесопокрытые площади отмечены по Северскому Донцу (10,9 тыс. га), по среднему (10,0 тыс. га) и нижнему (7,3 тыс. га) течению Дона [3]. В донских поймах распространены следующие лесные формации: дубравы, вязовники, берестняки, осокорники, белотопольники, вербняки и ольшаники. Кустарниковые заросли представлены чернокленовниками, ивняками, редко терновниками. Среди формаций пойменных лесов значительная часть (54 вида) приходится на медоносные растения [8].

В поймах рек встречаются массивы с дикими плодово-ягодными медоносами, а также представители медоносной флоры подлеска (ивы, клены, лох узколистный, аморфа кустарниковая, крушина ломкая, бирючина обыкновенная, черемуха обыкновенная) и травянистых фитоценозов (будра плющевидная, валериана лекарственная, клеверы луговой и средний, подмаренники, вербейники, зюзники, лопух большой, одуванчик лекарственный, чистец болотный, шандра ранняя).

Наибольшей продуктивностью (156,6 кг/га) в пойменных лесах обладают ветляники береговых низин, которые обеспечивают поддерживающий медосбор ранней весной.

В пойменных древостоях вязовника разнотравно-крапиво-ежевикового основной медосбор дают вязы и ива белая, в подлеске – крушины слабительная и ломкая, калина красная (35,3 кг/га). В живом напочвенном покрове медопродуктивностью отличаются ежевика, подмаренник и мышинный горошек (30,3 кг/га).

В поймах распространены кустарниковые формации ив (*Salix triandra*, *S. purpurea*, *S. acutifolia*, *S. caspica*, *S. cinerea*), чернокленовников и терновников. На песчаных прирусловых возвышениях встречаются заросли с доминированием краснотала (*S. acutifolia*). Желтолоз (*S. purpurea*) образуется в прирусловых частях пойм во всех районах пойменных лесов, как и заросли ив пепельной, серой (*S. cinerea*), которые обычны на центральных и прирусловых частях пойм в виде плотных зарослей или разреженных кустарниковых сообществ.

По низким прирусловым пескам встречается белотал (*S. triandra*) во всех районах пойменных лесов. Из травостоя отмечаются полыни высокая, метельчатая и обыкновенная, иногда крапива двудомная и ежевика. Заросли с доминированием ивы каспийской (*S. caspica*) встречаются редко. Они отмечены в Семикаракорско-Багаевском районе пойменных лесов и связаны с берегами лесных озер. Ивняки кустарниковые притеррасные занимают самые низкие застойные и заболоченные местоположения, формируя очень густые, трудно проходимые заросли ивы серой, белотала, желтолоза. Кустарниковые ивняки произрастают на самых бедных иловато-песчаных почвах непосредственно у русла реки. Это насаждения семенного происхождения и высокой густоты. В живом напочвенном покрове доминируют осоки.

В поймах рек южных и восточных районов отмечаются чернокленовники с доминированием *Acer tataricum* в сочетании с берестняками на солонцеватых черноземовидных луговых почвах. Спорадически на высоких участках центральной части поймы встречаются терновники.

Ивы обеспечивают пчел ранним медосбором. В годы с менее благоприятной погодой заросли разных видов ив предоставляют пчелам поддерживающий медосбор. На территории степного Придонья при соответствующей технологии пчеловодства ивы часто дают товарный мед. Нектаропродуктивность кустарниковых ив достигает 20...50 кг/га [7]. В процессе изучения установлено, что ивовые цветут ежегодно и обильно 1,5–2,0 месяца, сменяя друг друга.

Общая площадь вековых лесных массивов колеблется от 1842 до 5542 га, «молодых» – от 62 до 2682 га [2]. На лесопокрытых площадях лесных массивов, занимающих 75...92 %, преобладают одновозрастные культуры, которые изначально создавались путем посева или посадки в условиях открытой степи.

При изучении видового состава медоносов в различных лесорастительных условиях и типах леса для определения медопродуктивности растительных сообществ нами в лесничествах области, представляющих интерес для пчеловодства, были заложены пробные площади в насаждениях разного возраста. В результате исследований выявлено, что преобладающими породами в искусственных лесных массивах являются дуб черешчатый, клены остролистный и ясенелистный. Главные медоносы среди распространенных древесных видов, используемых при лесоразведении в степном Придонье, – робиния псевдоакация, липа мелколистная, клен полевой. Значимыми для пчеловодства считаются вяз приземистый, слива растопыренная, абрикос обыкновенный, гледичия трехколочковая и пыльценосы (сосны обыкновенная и крымская). Из кустарников для улучшения кормовой базы пчеловодства высаживают смородину золотистую, акацию желтую, клен татарский, свидину, жимолость татарскую, терн, калину и бирючину обыкновенные.

В дубраве сухой осоковой наиболее продуктивны чистые насаждения клена полевого (10КЛП) с медопродуктивностью 1050,9 кг/га. Значительной медопродуктивностью отличаются дубово-кленовые насаждения в составе с кленом полевым (487,8 кг/га), орехово-липовые (326 кг/га), дубово-липовые в подлеске с кленом татарским (306,4 кг/га) и липово-ясеневого (421,6 кг/га).

В дубраве свежей снытьево-осоковой высокая медопродуктивность отмечена в подлеске с кленом татарским и в живом напочвенном покрове со снытью, звездчаткой, будрой и медуницей (603,4 кг/га). Это немногим больше, чем в более сухих условиях. Медопродуктивность насаждения из дуба, клена остролистного, липы мелколистной и абрикоса с густым подлеском из клена татарского в рассматриваемом типе леса составляет 239,8 кг/га.

Наименьшей продуктивностью отличаются насаждения дубрав очень сухих осоково-злаковых. В данных условиях высокой продуктивностью меда выделяются гледичиевые насаждения в составе с абрикосом (214,3 кг/га), а также вязовые насаждения (130,5...165,7 кг/га) в подлеске с жимолостью татарской густой и редкой густоты.

Сводные данные медопродуктивности в различных формациях на землях лесного фонда приведены в табл. 2–4.

Таблица 2

Медопродуктивность (кг/га)* байрачных лесов

Тип леса	Группы основных лесообразующих пород		
	Дубравы	Кленовники	Вязовники
Дубняки:			
на световых берегах	426,4	212,9	179,0
присетевые	73,0	369,0	203,0
притальвежные	258,0	–	–
Дубравы на теневых берегах	278,0	183,0	106,0

*Здесь и далее, в табл. 3, 4 медопродуктивность определялась с учетом всех компонентов лесного фитоценоза (медоносы древостоя, подлеска, живого напочвенного покрова).

Таблица 3

Медопродуктивность (кг/га) искусственных лесных массивов

Тип леса	Виды медоносов в составе древостоя (20...100 %)			
	Липа	Дуб	Клен	Вяз
Дубравы:				
свежая снытьево-осоковая	–	116,0...239,8	188,5...603,4	226,5
очень сухая осоково-злаковая	–	–	124,0...154,4	130,5...165,7
сухая осоковая	306,4...421,6	–	487,8...1050,9	34,3...153,4

Таблица 4

Медопродуктивность (кг/га) пойменных лесов

Тип леса	Значение
Ветляник береговых низин	156,6
Вязовники:	
разнотравно-крапиво-ежевиковый	115,7
разнотравно-осоко-злаковый	95,7

Заключение

Как видно из результатов наших исследований, пчеловодство тесно связано с растениеводством. Пчелы являются опылителями энтомофильных растений, что положительно отражается на продуктивности ягодных и плодовых растений и способствует возрождению естественной флоры лесных ресурсов.

Достоверные сведения о флористическом составе медоносной растительности, количественные показатели по запасам нектара, обилию и территориальному размещению медоносных ресурсов в составе различных растительных сообществ необходимы для составления лесных планов территорий, осуществления лесного кадастра, проектных и прогнозных расчетов, организации экологического мониторинга.

Комплексное использование земель лесного фонда, в том числе в качестве нектароносной базы пчеловодства, может дать значительное увеличение лесного фонда и обеспечит развитие лесного хозяйства в южном регионе европейской территории Российской Федерации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аветисян Г.А.* Пчеловодство. М.: Колос, 1975. 296 с.
2. *Засоба В.В.* Биота искусственных лесных массивов Ростовской области. Новочеркасск: НГМА, 2007. 205 с.
3. *Зозулин Г.М.* Леса Нижнего Дона. Ростов н/Д.: Ростов. гос. ун-т, 1992. 208 с.
4. *Ковязин В.Ф., Аникин А.С., Григорьева О.И., Беляева Н.В.* Лесоведение: метод. указ. по учеб. практике студентов // СПб.: СПбГЛТА, 2007. 88 с.
5. *Нестеров П.И., Пинчук Л.М., Леонтьев Г.П.* Медоносные ресурсы Молдавии. Кишинев: Карта молдовеняскэ, 1988. 205 с.
6. *Пономарева Е.Г., Детерлеева Н.Б.* Медоносные ресурсы и опыление сельскохозяйственных растений. М.: Агропромиздат, 1986. 223 с.
7. *Самсонова И.Д.* Медоносные ресурсы в фитоценозах степного Придонья // Кормопроизводство. 2012. № 11. С. 16–17.
8. *Самсонова И.Д., Сидаренко П.В.* Ивовые насаждения // Пчеловодство. 2006. № 2. С. 22–23.
9. *Сидаренко П.В., Самсонова И.Д.* Биоресурсный потенциал лесов для медосбора в Ростовской области // Лесн. хоз-во. 2011. № 6. С. 29–30.
10. *Смарагдова Н.П.* О нектаро- и сахаропродуктивности медоносных растений // Пчеловодство. 1954. № 11. С. 40–43.
11. *Тименский П.И.* Приусадебная пасека. М.: Агропромиздат, 1988. 270 с.
12. *Турчин Т.Я.* Естественные степные дубравы донского бассейна и их восстановление. М.: ВНИИЛМ, 2004. 312 с.
13. *Bradbear N.* Bees and Their Role in Forest Livelihoods: a Guide to the Services Provided by Bees and the Sustainable Harvesting, Processing and Marketing of Their Products // Non-Wood Forest Products Series. 2009. No. 19. 204 p.
14. *Cornell S.* Valuing Ecosystem Benefits in a Dynamic World // Climate Research. 2011. No. 45. Pp. 261–272.

15. Kolbina L., Nepeivoda S., Zorina M. Fodder Base of Beekeeping in Udmurtia. XLI Naukowa konferencja pszczelarska, Pulawy, 09-10 March 2004. Pulawy, Poland. 2004. P. 82.

16. Kremen C., Williams N.M., Bugg R.L., Fay J.P., Thorp R.W. The Area Requirements of an Ecosystem Service: Crop Pollination by Native Bee Communities in California // *Ecology Letters*. 2004. No. 7(11). Pp. 1109–1119.

17. Oddo L.P., Piro R., Bruneau E., Guyot-Declerck Ch., Ivanov T., Piskulova J., Flamini Ch., Lheritier J., Morlot M., Russmann H., Von der Ohe W., Von der Ohe K., Gotsiou P., Karabournioti S., Kefalas P., Passaloglou-Katrali M., Thrasyvoulou A., Tsigouri A., Marcazzan G.L., Piana M.L., Piazza M.G., Sabatini A.G., Kerkvliet J., Godinho J., Bentabol A., Valbuena A.O., Bogdanov S., Ruoff K. Main European Unifloral Honey: Descriptive Sheets // *Apidologie*. 2004. Vol. 35, no. 1. Pp. S38–S81.

18. Rybak-Chmielewska H., Szczesna T., Was E., Jaskiewicz K., Teper D. Characteristics of Polish Unifloral Honeys IV: Honeydew Honey, Mainly *Abies Alba* L. // *Journal of Apicultural Science*. 2013. No. 57(1). Pp. 51–59.

19. Snieskiene V., Balezentiene L., Stankeviciene A. State of Horse-Chestnut, *Aesculus hippocastanum* L. in Lithuania: Diseases and Pest Damages // *Ekologija*. 2011. No. 57(2). Pp. 62–69.

20. Snieskiene V., Juronis V. Damage of Lopped Trees in Lithuania by *Schizophyllum commune* Fr. // *Bulletin of the Polish academy of sciences. Biological sciences*. 1999. No. 47(2–4). Pp. 119–122.

Поступила 07.01.17

UDC 630*453:595.799

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.69

Melliferous Capacity of Plant Formations in Forest Area Lands of the Steppe Don Region

I.D. Samsonova, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor

Saint Petersburg State Forest Technical University under name of S.M. Kirov, Institutskiy per., 5, Saint Petersburg, 194021, Russian Federation; e-mail: isamsonova18@mail.ru

The widespread use of the potential of vegetative communities of forest areas can require studying and assessment of melliferous resources for beekeeping. The research objectives included the melliferous capacity determination of plant formations in the forest area lands of the steppe Don Region. Studying the bee harvesting conditions in forestry is necessary for beekeeping planning, development of an apiary activity plan for a season, the choice of the method of beekeeping and methods of bees caring, the full use of honey resources; and to outline the ways to improve the honeybase. When assessing honey resources, we established areas occupied by honey plants, carried out the inventory of melliferous trees and shrubs in the sampling areas by the route method. The potential melliferous capacity is calculated per unit area. Melliferous lands and natural and climatic conditions in the forest area of the

For citation: Samsonova I.D. Melliferous Capacity of Plant Formations in Forest Area Lands of the Steppe Don Region. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 4, pp. 69–83. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.69

steppe Don Region are characterized by great variability. The results of the research establish that the Rostov Region with a forest cover of 2.5 % has a huge forest bioresource potential for honey harvest. Woody and shrubby melliferous vegetation (Norway, Tatarian, common maple), linden, black locust, pear, wild cherry, apple, apricot, willow, European cornel, blackthorn, white thorn, Tartarian honeysuckle, Tatar honeysuckle, yellowacacia, amorphia, European dogwood, Persian berry, silverberry, snowberry, frutescent cherry) grow mainly in forest plantations, as well as in ravine and floodplain forests. Oak ravine forests are characterized by maximal melliferous capacity on the light shores (426.4 kg/ha). At the same time, melliferous capacity per unit area increases with the increase of the share of common and Tatarian maple, little-leaved linden and elm. The first place by this indicator is occupied by maple forests of the oak ravine forests (369.1 kg/ha). In the floodplain formations, willow groves of coastal lowlands (156.6 kg/ha) have the highest productivity. Pure stands of common maple are most productive in a dry sedge oak-grove (1050.9 kg/ha). Oak-maple plantations with common maple (487.8 kg/ha), nut-linden (326 kg/ha); oak-linden plantations in the understory with Tatarian maple (306.4 kg/ha); linden-aspens plantations (421.6 kg/ha) are distinguished by significant melliferous capacity. Oak-maple plantations with common maple (with Tatarian maple in the understory) and a forest live cover with aisle-weed, starwort, ground ivy and lungwort (603.4 kg/ha) show high melliferous capacity in the aisle-weed sedge oak grove. With the skillful use of the melliferous potential of forest plants, we can successfully develop not only profitable beekeeping, but also significantly increase the forest resources of the southern regions of the European part of the Russian Federation.

Keywords: plant formation, melliferous capacity, ravine forest, forest area, steppe Don Region.

REFERENCES

1. Avetisyan G.A. *Pchelovodstvo* [Beekeeping]. Moscow, 1975. 296 p.
2. Zasoba V.V. *Biota iskusstvennykh lesnykh massivov Rostovskoy oblasti* [Biota of Artificial Forests in the Rostov Region]. Novochoerkassk, 2007. 205 p.
3. Zozulin G.M. *Lesy Nizhnego Dona* [Forests of the Lower Don]. Rostov-on-Don, 1992. 208 p.
4. Kovyazin V.F., Anikin A.S., Grigor'eva O.I., Belyaeva N.V. *Lesovedenie: metod. ukaz. po ucheb. praktike studentov* [Forest Management]. Saint Petersburg, 2007. 88 p.
5. Nesterov P.I., Pinchuk L.M., Leontyak G.P. *Medonosnye resursy Moldavii* [Honey Resources of Moldova]. Chisinau, 1988. 205 p.
6. Ponomareva E.G., Deterleeva N.B. *Medonosnye resursy i opylenie sel'skokhozyaystvennykh rasteniy* [Honey Resources and Pollination of Agricultural Plants]. Moscow, 1986. 223 p.
7. Samsonova I.D. Medonosnye resursy v fitotsenozakh stepnogo Pridon'ya [Nectariferous Resources in the Don Steppes]. *Kormoproizvodstvo* [Fodder Production], 2012, no. 11, pp. 16–17.
8. Samsonova I.D., Sidarenko P.V. Ivoverye nasazhdeniya [Willow Stands]. *Pchelovodstvo* [Beekeeping], 2006, no. 2, pp. 22–23.
9. Sidarenko P.V., Samsonova I.D. Bioresursnyy potentsial lesov dlya medosbora v Rostovskoy oblasti [Bioresource Forests Honeyflow Potential in the Rostov Region]. *Lesnoe khozyaystvo*, 2011, no. 6, pp. 29–30.

10. Smaragdova N.P. O nektaro- i sakharoproduktivnosti medonosnykh rasteniy [On the Nectar and Sugar Bearing Capacity of Honey Plants]. *Pchelovodstvo* [Beekeeping], 1954, no. 11, pp. 40–43.
11. Timenskiy P.I. *Priusadebnaya paseka* [Home Apiary]. Moscow, 1988. 270 p.
12. Turchin T.Ya. *Estestvennyye stepnye dubravy donskogo basseyna i ikh vosstanovlenie* [Natural Steppe Oak Forests of the Don Basin and Their Restoration]. Moscow, 2004. 312 p.
13. Bradbear N. Bees and Their Role in Forest Livelihoods: a Guide to the Services Provided by Bees and the Sustainable Harvesting, Processing and Marketing of Their Products. *Non-Wood Forest Products Series*, 2009, no. 19. 204 p.
14. Cornell S. Valuing Ecosystem Benefits in a Dynamic World. *Climate Research*, 2011, no. 45, pp. 261–272.
15. Kolbina L., Nepeivoda S., Zorina M. Fodder Base of Beekeeping in Udmurtia. *XLI Naukowa konferencja pszczelarska, Pulawy, 09–10 March 2004*. Pulawy, Poland, 2004, p. 82.
16. Kremen C., Williams N.M., Bugg R.L., Fay J.P., Thorp R.W. The Area Requirements of an Ecosystem Service: Crop Pollination by Native Bee Communities in California. *Ecology Letters*, 2004, no. 7(11), pp. 1109–1119.
17. Oddo L.P., Piro R., Bruneau E., Guyot-Declerck Ch., Ivanov T., Piskulova J., Flamini Ch., Lheritier J., Morlot M., Russmann H., Von der Ohe W., Von der Ohe K., Gotsiou P., Karabournioti S., Kefalas P., Passaloglou-Katrali M., Thrasylvoulou A., Tsigouri A., Marcazzan G.L., Piana M.L., Piazza M.G., Sabatini A.G., Kerkvliet J., Godinho J., Bentabol A., Valbuena A.O., Bogdanov S., Ruoff K. Main European Unifloral Honeys: Descriptive Sheets. *Apidologie*, 2004, vol. 35, no. 1, pp. S38–S81.
18. Rybak-Chmielewska H., Szczęśna T., Was E., Jaskiewicz K., Teper D. Characteristics of Polish Unifloral Honeys IV: Honeydew Honey, Mainly *Abies Alba* L. *Journal of Apicultural Science*, 2013, no. 57(1), pp. 51–59.
19. Snieskiene V., Balezentiene L., Stankeviciene A. State of Horse-Chestnut, *Aesculus hippocastanum* L. in Lithuania: Diseases and Pest Damages. *Ekologija*, 2011, no. 57(2), pp. 62–69.
20. Snieskiene V., Juronis V. Damage of Lopped Trees in Lithuania by *Schizophyllum commune* Fr. *Bulletin of the Polish academy of sciences. Biological sciences*, 1999, no. 47(2–4), pp. 119–122.

Received on January 07, 2017

УДК 630*44:674.031.632.13

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.84

БАКТЕРИАЛЬНАЯ ВОДЯНКА БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ (*BETULA PENDULA* ROTH.) В ЖИТОМИРСКОМ ПОЛЕСЬЕ УКРАИНЫ

М.В. Швец, асп.

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, ул. Героев
Обороны, д. 15, корп. 1, г. Киев, Украина, 03041; e-mail: marina_lis@ukr.net

Береза повислая (*Betula pendula* Roth.) в Житомирском Полесье Украины формирует высокопродуктивные как чистые, так и смешанные насаждения с сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), дубом обыкновенным (*Quercus robur* L.), осинкой (*Populus tremulae* L.). В последние годы наблюдается массовое усыхание этого ценного древесного растения, связанное с инфекционной, в первую очередь бактериальной, патологией. Приведены результаты исследований бактериальной водянки – опасного инфекционного заболевания березы повислой, возбудителем которого является фитопатогенная бактерия *Enterobacter nimipressuralis*. Указано, что отмирание березы повислой при ее поражении бактериальной водянкой происходит в результате отслоения покровных частей с образованием некрозов шириной 10...20 см и длиной 1 м и более. Патогенность возбудителя водянки доказана в эксперименте на индикаторных растениях и на березе повислой (побеги и листья *B. pendula* были не чувствительны к патогену). Установлено, что поражение бактериальной водянкой с образованием стойких очагов усыхания более интенсивно происходит в березовых насаждениях старших возрастных групп. С поражениями вместе с *E. nimipressuralis* изолированы и другие виды бактерий, а также грибы, которые, очевидно, являются сопутствующей микробной микрофлорой в патологии бактериальной водянки. Высказано достаточно аргументированное предположение о непосредственном участии рогохвоста (*Tremex fuscicornis*) в распространении *E. nimipressuralis*. В зависимости от физиологического состояния плотность заселения *B. pendula* рогохвостом в исследуемом регионе варьирует в среднем от 0,09 до 10,9 летних отверстий на 1 дм². Здоровые деревья и насаждения характеризуются практически нулевой численностью *T. fuscicornis* на стволах. К сильно ослабленным деревьям и насаждениям отнесены те, где наблюдалось свыше 7 летних отверстий на 1 дм² и береза находилась в состоянии отмирания.

Ключевые слова: бактериальная водянка, фитопатогенные бактерии, *Enterobacter nimipressuralis*, симптоматика, патогенез, березовый рохвост, *Betula pendula* Roth., березовые насаждения, фитосанитарное состояние.

Введение

В Житомирском Полесье Украины общая площадь насаждений с участием березы повислой (*Betula pendula* Roth.) составляет 103,9 тыс. га.

Для цитирования: Швец М.В. Бактериальная водянка березы повислой (*Betula pendula* Roth.) в Житомирском Полесье Украины // Лесн. журн. 2017. № 4. С. 84–94. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.84

Несмотря на широкую экологическую амплитуду, *B. pendula* очень чувствительна не только к вредителям леса, но и к различным систематическим и функциональным группам мико- и микроорганизмов. На этом древесном растении известно 502 вида вредоносной энтомофауны, 302 вида грибов, бактерий и высших цветочных растений [6, 7]. Чувствительность березы повислой к возбудителям инфекционной патологии, в том числе и к афиллофороидным макромицетам, обусловлена спринтерской жизненной стратегией этой ценной древесной породы со сравнительно коротким для древесных форм жизненным циклом, а также благоприятными условиями микоксилотиза в ее коре (корке) [1].

Массовое усыхание березы при поражении ее *Enterobacter nimipressuralis* зафиксировано в Житомирском Полесье в 2000–2002 и 2005–2006 гг., когда площадь сухостойных берез составляла 545 и 1156 га соответственно. В результате проведения санитарных рубок в 2010 г. площадь таких насаждений уменьшилась до 689 га. В 2015 г. усыхание этого ценного древесного растения приобрело эпифитотийный характер и проявилось на площади 1327 га. В первую очередь к таким последствиям привело пагубное воздействие комплекса фитопатогенных бактерий. Учитывая интенсивное развитие бактериальной водянки, можно прогнозировать ее дальнейшее распространение, особенно в том случае, если в лесных насаждениях не будут проводиться оздоровительные мероприятия.

Сведений об изучении этой болезни на Украине практически нет. В частности, недостаточно исследованы симптоматика, возбудитель болезни, пути проникновения его в растение и распространения, приуроченность заболевания к возрастным группам, составу насаждений, лесорастительным условиям и другие факторы, которые значимо влияют на патологию и в определенной степени могут отражаться на эффективности борьбы с данной болезнью.

Цель исследования – изучение этиологии и патогенеза бактериальной водянки березы повислой в Житомирском Полесье Украины, а также симптоматики, вредоносности и распространенности болезни в березовых насаждениях данного региона в контексте комплексной оценки их фитосанитарного состояния.

Объекты и методы исследования

Объект исследования – *B. pendula* в насаждениях Житомирского Полесья Украины, предмет исследования – бактериальная патология березы повислой в этих насаждениях.

Опытные образцы были собраны в оптимальных для *B. pendula* условиях местопрорастания – свежих и влажных борах, суборах и судубравах – при проведении рекогносцировочных и детальных лесопатологических обследований чистых березовых, березово-сосновых, сосново-березово-дубовых и сосново-березово-осиновых насаждений.

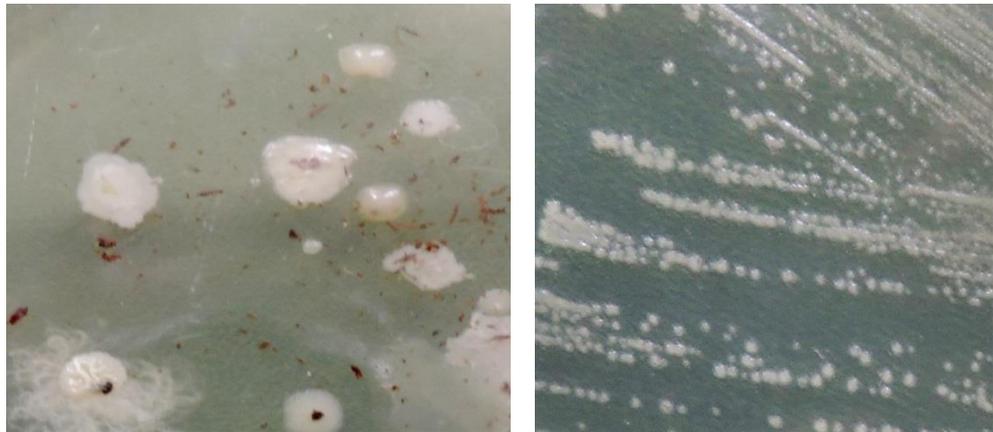
Исследования базировались на системном подходе с использованием общепринятых в лесоводстве и лесной фитопатологии методов лесопатологических

обследований (рекогносцировочные и детальные) и фитопатологических исследований, а также специальных методов экспериментальной бактериологии, микологии, лабораторных анализов.

В качестве питательной среды для изолирования бактерий применяли картофельный агар, для накопительных культур – мясо-пептонный бульон. Для выделения фитопатогенных бактерий использовали посев экссудата и растертых (гомогенизированных) образцов, а также посев на питательную среду кусочков пораженных тканей.

Образцы для лабораторных исследований отбирали с больных растений различных возрастных групп из разных частей ствола (кора, пораженная лубяная часть, на границе визуально здоровой и пораженной ткани). При работе с древесиной в лаборатории предпочтение было отдано посеву опилок, поскольку гомогенизация кусочков древесины затруднена. Для этого промытый образец древесины обливали спиртом и обжигали, после чего сверлили отверстия стерильным ланцетом на границе здоровой и пораженной ткани, непосредственно над пластинками с питательной средой [2]. В этом случае опилки получают разных размеров, но чаще очень мелкие. Практически во всех случаях при высеве опилок на питательную среду отмечается интенсивное обрастание ее бактериальной массой (рис. 1). В отдельных случаях можно получить чистую культуру бактерий.

Отсутствие роста вокруг опилок в определенной степени свидетельствует о небактериальной природе заболевания [2, 3]. Эксперименты были выполнены в Институте микробиологии и вирусологии им. Д.К. Заболотного НАН Украины.



a

б

Рис. 1. Выделение бактерий методом посева опилок на питательную среду (*a*) и чистая культура *E. nimipressuralis* (*б*)

Результаты исследования и их обсуждение

В Житомирском Полесье Украины береза повислая формирует высокопродуктивные как чистые, так и смешанные насаждения с сосной обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), дубом обыкновенным (*Quercus robur* L.), осиной (*Populus tremulae* L.). Опасной для деревьев березы, особенно для растений с высокой энергией роста, является бактериальная водянка, возбудитель которой поражает деревья различного возраста (наиболее интенсивно – старших возрастных групп), образуя стойкие очаги отмирания (рис. 2).



Рис. 2. Очаг бактериальной водянки в чистом березовом насаждении

Обычно фитопатогенные бактерии проходят «первым эшелон» по живым клеткам, готовя их для дальнейшей колонизации грибами. Пораженные бактериальной водянкой древесные растения становятся естественными резервуарами патогена [10]. В отличие от микозов, бактериальный симптогенез отличается скоростью и агрессивностью возбудителя, при метаболических процессах бактерий проявляется в быстром накоплении (в течение одной-двух недель) газов, которые под давлением отслаивают кору от древесины и хорошо заметны в виде характерных вздутий коры достаточно больших размеров (ширина 10...20 см, длина – 1 м и более). При механическом повреждении этих вздутий под значительным давлением выделяется бурый (коричневый) экссудат. После гибели камбиального слоя вокруг образовавшегося некроза (язвы) формируется каллюсная ткань, кора растрескивается с образованием на стволе характерных повреждений (ран) с рваными краями. Образование вздутий коры типично для стволов деревьев с гладкой (первичной) корой. При наличии вторичной (трещиноватой) коры бактерии также отслаивают ее от древесины, но существенного вздутия коры не наблюдается, экссудат выделяется через трещины в местах наименьшей ее толщины.

От других бактериальных болезней водянка отличается сильным обводнением и насыщением влагой тканей ствола с образованием мокрого патологического «ядра». После окончания патологического процесса кора в зоне поражения отмирает и со временем отпадает, обнажая древесину [9, 11]. Как правило, с течением времени размеры первичного поражения не увеличиваются (оно только углубляется в ствол). Обнаженную древесину заселяют деревоокрашивающие и дереворазрушающие грибы. Обычно на стволе может образовываться несколько очагов поражений. Они всегда четко ограничены и не сливаются между собой.

В очагах бактериальной водянки насаждения характеризуются как ослабленные, однако в их структуре можно наблюдать деревья без признаков ослабления. Важным диагностическим признаком ухудшения физиологиче-

ского состояния *B. pendula* является образование водяных побегов, которые довольно часто встречаются на ее стволах (рис. 3). Их подразделяют на побеги, образующиеся в результате изменения светового режима, и побеги на угнетенных деревьях [2]. Образование водяных побегов в исследуемых насаждениях связано именно с нарушением физиологии березы повислой.



а



б



в

Рис. 3. Патогенез бактериальной водянки на стволе *B. pendula*: а – многочисленные очаги водянки; б – образование водяных побегов на пораженных стволах; в – некроз (язва) от бактериальной водянки

Установлено, что пораженность бактериальной водянкой повышается с увеличением возраста березовых насаждений [11]. В 30-летних насаждениях усыхающих и сухостойных деревьев заметно меньше, чем в 60-летних. При диагностике учитывали анатомо-морфологические (окраска, форма, цвет

колоний и бактериальных клеток, жгутикование, флуоресценция) и физиолого-биохимические (отношение к источникам углерода, гидролиз желатина и крахмала, образование сероводорода, индола и аммиака, окислительное или ферментативное использование глюкозы, наличие пектолитических и протеолитических ферментов, реакция на лакмусовое молоко и др.) свойства бактерий [3, 9].

Из выросших на картофельном агаре колоний для дальнейших исследований (выделение в чистую культуру, проверка патогенных свойств, реизоляция, сравнительное изучение) были отобраны три морфотипа колоний (табл. 1).

Таблица 1

Анатомо-морфологическая характеристика 2-суточных изолятов бактерий, выделенных из пораженных тканей *B. pendula*

Признак	Колония		
	1	2	3
Форма	Круглая	Круглая	Круглая
Профиль	Плоский	Выпуклый	Выпуклый
Размер (диаметр)	4,3...5,8 мм (средние и крупные)	1,4...3,6 мм (мелкие и средние)	0,8...2,1 мм (мелкие)
Цвет (пигмент)	Желтый	Серо-белый	Кремове-серый
Прозрачность	Полупрозрачные, блестящие	Полупрозрачные, блестящие	Непрозрачные, матовые
Центр	Приподнят, уплотненный	Приподнят	Приподнят
Края	Целые, ровные	Целые, слабоволнистые	Целые, слабоволнистые
Вязкость	–	–	Вяжущие
Консистенция	Плотная	Плотная	Слизистая

Изоляты условно были отнесены к родам *Xanthomonas* (группа 1), *Enterobacter* (2), *Bacillus* (3), где первый и третий не проявили патогенных свойств на березе повислой. В качестве эталона использован изолированный в Украине штамм *E. nimipressuralis* 8993 из коллекции Института микробиологии и вирусологии НАН Украины.

Бактерии рода *Xanthomonas* образовывали на картофельном агаре блестящие круглой формы с ровными краями желтые слизистые колонии.

Род *Bacillus* включал спороносные бактерии, которые на картофельном агаре образовывали кремо-серые маслянистые с неровными краями не просвечивающиеся колонии. Как свидетельствуют литературные данные, патогенные свойства этого рода проявляются на ослабленных древесных растениях, особенно на тех, которые произрастают в неблагоприятных условиях [10].

Основное внимание было уделено бактериям, отнесенным нами к роду *Enterobacter*. Клетки в мазках из агаровой культуры располагаются одиночно, парами, спор и капсул не образуют. На картофельном агаре колонии имеют круг-

лую форму (диаметр 3...5 мм) со слабоволнистым краем, блестящие, серо-белые. В проходящем свете хорошо заметны гофрированная полоска по периметру колонии и радиальные лучи. Бактерии образуют газ на манните и салицине, но не на дульците, усваивают инозит, створаживают молоко, редуцируют нитраты, усваивают органические кислоты (кетоглутаровую, лимонную, муравьиную, уксусную, яблочную, янтарную, фумаровую, молочную). Нами выявлена вариабельность некоторых изолятов *E. nimipressuralis* в усвоении арабинозы, глюкозы, мальтозы, лактозы, маннита, салицина, глицерина, ксилозы, сорбита, что может быть связано с конкретными условиями существования бактерий.

Изолированная грибная микобиота была представлена сапротрофами из родов *Rhizopus*, *Mucor*, *Penicillium*. Патогенные свойства выделенных изолятов бактерий проверяли как на индикаторных растениях, так и непосредственно на березе повислой (листья, побеги, стволы) в полевых условиях по общепринятым в микробиологии методам [2, 3] (рис. 4).

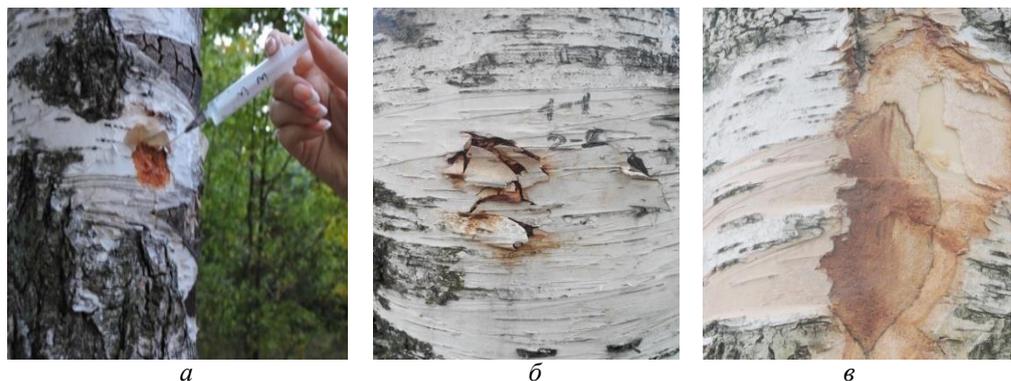


Рис. 4. Искусственное заражение стволов березы повислой суспензией *E. Nimipressuralis*: а – заражение 09.10.2015 г.; б, в – учет 11.04.2016 г. (б – общий вид поражения; в – после снятия коры)

В ходе эксперимента установлено, что листья *B. pendula* были не чувствительными ко всем исследуемым изолятам.

Распространение бактериальной патологии древесных растений связывают с насекомыми, акцентируя внимание на том, что среди патогенных бактерий древесных растений неизвестны виды, не связанные с насекомыми – векторами, осуществляющими экзогенный и эндогенный перенос бактерий [4, 10]. В частности, исследованиями березовых насаждений в восточной лесостепи Украины обнаружено 16 видов стволовых насекомых из двух отрядов: перепончато- (*Hymenoptera*) и жесткокрылые (*Coleoptera*).

В данном регионе здоровые и ослабленные деревья березы повислой заселяли рогахвосты (*Tremex fuscicornis*), при этом максимальная плотность поселений составляла 0,5 экз./дм² [8]. Учет плотности поселений рогахвостов проводили в соответствии с общепринятыми на Украине методами учета стволовых вредителей леса [5]. Согласно данной методике на каждом из 10 деревьев различных категорий фитосанитарного состояния на высоте 1,3...1,5 м и площади

примерно 5 дм² (5×1 дм) подсчитывали количество летных отверстий и определяли их среднее количество на 1 дм². Как показали наши исследования, плотность заселения стволов березы повислой значимо зависит от физиологического состояния растения и является четким диагностическим признаком глубины его патологии (рис. 5, табл. 2).

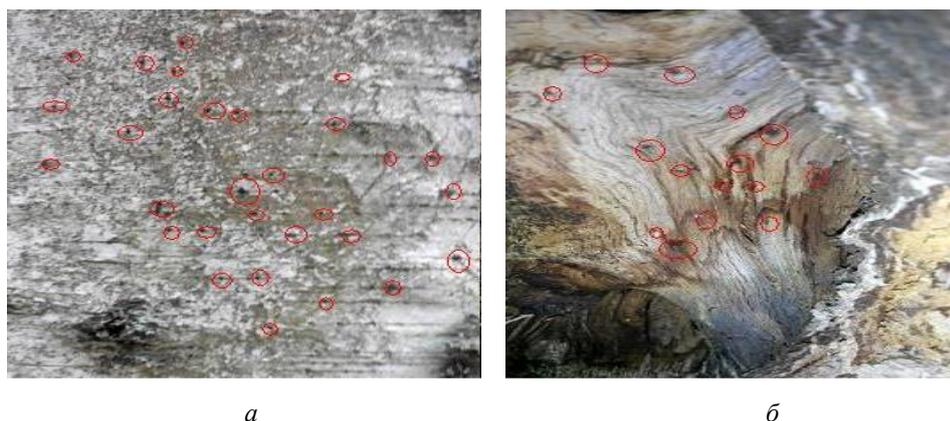


Рис. 5. Летные отверстия *T. fuscicornis* на стволе березы повислой: *a* – общий вид, *б* – после снятия коры

Таблица 2

Плотность летных отверстий *T. fuscicornis* на стволах березы повислой разного физиологического состояния в очагах бактериальной водянки

Государственное предприятие, лесничество, квартал, выдел, состав насаждения	Среднее количество летных отверстий <i>T. fuscicornis</i> на стволах <i>B. pendula</i>	Состояние насаждения	Уровень численности <i>T. fuscicornis</i>
ГП «Емильчинское ЛХ», Королевское лесничество, кв. 16, выд. 7–9, 5Б4С1Олч+Е	2,1	Ослабленное	Повышенный
ГП «Коростенское ЛХ», Беховское лесничество, кв. 109, выд. 29 и 31, 5Б4Ос1Е	10,9	Сильно ослабленное	Опасно повышенный
ГП «Белокоровицкое ЛХ», Зубковицкое лесничество, кв. 63, выд. 19, 6Б2Олч2Ос+Е	7,2	Сильно ослабленное	Опасно повышенный
ГП «Словечанское ЛХ», Кованское лесничество, кв. 41, выд. 18, 6С4Б+Олч	10,3	Сильно ослабленное	Опасно повышенный
ГП «Олевское ЛХ», Сновидовицкое лесничество, кв. 33, выд. 42, 6Б4С	1,6	Ослабленное	Повышенный
ГП «Лугинское ЛХ», Липницкое лесничество, кв. 61, выд. 20–24, 10Б+Олч	0,09	Здоровое	Не превышает естественный уровень

В зависимости от физиологического состояния плотность заселения *B. pendula* в исследуемом регионе варьирует от 0,09 до 10,9 летных отверстий на 1 дм². Здоровые деревья и насаждения характеризуются практически нулевой численностью *T. fuscicornis* на стволах. К сильно ослабленным деревьям и насаждениям отнесены те, где наблюдалось свыше 7 летных отверстий на 1 дм², а береза находилась в состоянии отмирания.

Косвенным признаком причастности насекомых, в первую очередь большого березового рогахвоста, к распространению бактериальной инфекции, является тот факт, что во всех случаях проникновения *T. fuscicornis* вокруг летных отверстий наблюдалась более темная окраска некротических зон. Несомненно, любое механическое повреждение ствола, в том числе и насекомыми, в очаге поражения формирует клетки различного физиологического состояния – от здоровых до отмерших, что зависит от влияния на них разрушающего фактора. Периодические вспышки бактериальной водянки березы повислой связаны с различными нарушениями физиологических (метаболических) процессов у растений и их непосредственным влиянием на аутомикрофлору (нормальную микрофлору здорового растения), в том числе и на патогенную. Что касается насекомых, то их негативная роль в распространении бактериоза связана с внесением инокулюма (возбудителя) в ослабленные деревья с образованием новых многочисленных очагов поражения извне. Это вторичный фактор патологии, который приводит к быстрой гибели *B. pendula*.

Исследования в этом направлении продолжаются. В любом случае, о непосредственной роли насекомых в распространении бактериальной инфекции (как вторичного фактора в инфекционной патологии) можно говорить в том случае, когда будет доказано ее наличие на поверхности или внутри насекомого. При этом речь может идти о биологическом или механическом (на покровах тела или на ротовых органах) переносе инфекции.

Заключение

1. Установлено, что наиболее распространенным и вредоносным заболеванием березы повислой в Житомирском Полесье Украины является бактериальная водянка, формирующая стойкие очаги усыхания, особенно в березовых насаждениях старших возрастных групп.

2. Доказана экспериментально патогенность возбудителя бактериальной водянки – фитопатогенной бактерии *E. nimipressuralis*.

3. Плотность заселения березы повислой большим березовым рогахвостом (*T. fuscicornis*) – возможным вторичным вектором распространения *E. Nimipressuralis* – является четким диагностическим показателем физиологического состояния и глубины патологии *B. pendula*: чем больше летных отверстий *T. fuscicornis* на растениях, тем менее жизнеспособными они являются (на здоровых деревьях и в здоровых насаждениях летные отверстия нами не обнаружены).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арефьев С.П. Системный анализ биоты дереворазрушающих грибов: моногр. Новосибирск: Наука, 2010. 257 с.

2. Гвоздяк, Р.И., Гордиенко М.И., Гойчук А.Ф. Дуб черешчатый в Украине. Киев: Наук. думка, 1993. 221 с.

3. Гвоздяк Р.И., Яковлева Л.М. Бактериальные болезни лесных древесных пород. Киев: Наук. думка, 1979. 244 с.

4. Гниненко Ю.И., Безрученко А.Я. Бактериальная водянка в березняках Южного Зауралья и Северного Казахстана // Вестн. с.-х. науки Казахстана. 1983. № 5. С. 22–26.

5. Методичні рекомендації щодо обстеження осередків стовбурових шкідників лісу / Відповідальний укладач В.Л. Мешкова. Харків: УкрНДЦЛГА, 2010. 27 с.

6. Сагитов А.О., Исин М.М., Джаймурзина А.А. Бактериальная водянка березы в Северном Казахстане // Сб. ст. межд. науч. конф. «Фитопатогенные бактерии. Фитонцидология. Аллелопатия». 4–6 сент. 2005 г. Житомир, 2005. С. 79–83.

7. Синадский Ю.В. Береза. Ее вредители и болезни. М.: Наука, 1973. 216 с.

8. Скрильник Ю.С., Кошеляева Я.В. Перші результати вивчення стовбурових комах берези повислої (*Betula pendula* Roth.) у Харківській області // Вісті Харк. енто-мол. т-ва. 2015. Т. XXIII, вип. 2. С. 54–58.

9. Федоров Н.И., Ковбаса Н.П., Ярмолович В.А. Бактериальная водянка березы – новое заболевание в лесах Беларуси // Тр. БГТУ. 2004. № 12. С. 277–279.

10. Черпаков В.В. Бактериальные болезни лесных пород в патологии леса // Изв. С.-Петербур. лесотехн. акад. 2012. Вып. 200. С. 292–303.

11. Швець М.В. Про ситуацію березових насаджень в лісах Житомирського Полісся України // Матеріали міжнар. наук.-практ. конф. ХНАУ. 2015. С. 193–196.

Поступила 28.03.17

UDC 630*44:674.031.632.13

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.84

Bacterial Dropy of European White Birch (*Betula pendula* Roth.) in Zhytomyr Polesye of Ukraine

*M.V. Shvets*¹, Postgraduate Student

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, ul. Geroev Oborony, 15, bl. 1, Kyiv, 03041, Ukraine; e-mail: marina_lis@ukr.net

European white birch (*Betula pendula* Roth.) in Zhytomyr Polesye of Ukraine forms highly productive both pure and mixed plantings with Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.), oak (*Quercus robur* L.), and aspen (*Populus tremulae* L.). In recent years, we observe a massive drying of this valuable woody plant, associated with infectious, primarily bacterial, pathology. The paper presents the study results of bacterial dropy – a dangerous infectious birch disease, caused by phytopathogenic bacterium *Enterobacter nimipressuralis*. The process of European white birch dying off after its infection with bacterial dropy occurs as a result of detachment of the cover parts with the formation of necrosis with a width of 10...20 cm and a length of 1 m or more. The pathogenicity of the causative agent of dropy is proved in an experiment at the indicator plants and European white birch (shoots and leaves of *B. pendula* are not sensitive to the pathogen). Bacterial dropy infestation with the formation of persistent foci of desiccation occurs more intensively in the birch plantations of older age groups. Together with *E. nimipressuralis*, other

For citation: Shvets M.V. Bacterial Dropy of European White Birch (*Betula pendula* Roth.) in Zhytomyr Polesye of Ukraine. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 4, pp. 84–94. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.84

types of bacteria are isolated from the lesions, as well as fungi, which are obviously concomitant myco- and microflora in the pathology of bacterial dropsy. We have made a reasoned assumption about the direct participation of *Tremex fuscicornis* in the dissemination of *E. nimipressuralis*. Depending on the physiological state, the population density of *B. pendula* in the region under study varies on average from 0.09 to 10.9 flying holes per 1 dm². Healthy trees and plantings are characterized by a practically zero number of *T. fuscicornis* on trunks. We have distinguished the plants with more than 7 holes per 1 dm² and with a birch-tree in a dying state as strongly weakened trees and plantations.

Keywords: bacterial dropsy, phytopathogenic bacteria, *Enterobacter nimipressuralis*, symptomatology, pathogenesis, *Tremex fuscicornis*, *Betula pendula* Roth., birch plantation, phytosanitary condition.

REFERENCES

1. Aref'ev S.P. *Sistemnyy analiz bioty derevorazrushayushchikh gribov* [System Analysis of Biota of Wood-Destroying Fungi]. Novosibirsk, 2010. 257 p.
2. Gvozdyak R.I., Gordienko M.I., Goychuk A.F. *Dub chereshchatyy v Ukraine* [English Oak in Ukraine]. Kyiv, 1993. 221 p.
3. Gvozdyak R.I., Yakovleva L.M. *Bakterial'nye bolezni lesnykh drevesnykh porod* [Bacterial Diseases of Forest Tree Species]. Kyiv, 1979. 244 p.
4. Gninenko Yu.I., Bezruchenko A.Ya. Bakterial'naya vodyanka v bereznyakakh Yuzhnogo Zaural'ya i Severnogo Kazakhstana [Bacterial Dropsy in the Birch Forests of Southern Trans-Urals and Northern Kazakhstan]. *Vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki Kazakhstana*, 1983, no. 5, pp. 22–26.
5. Meshkov V.L., compl. *Metodichni rekomendatsii shchodo obstezhennya oseredkiv stovburovikh shkidnikiv lisu* [Guidelines for Inspection of Cells Stem Pests]. Kharkov, 2010. 27 p.
6. Sagitov A.O., Isin M.M., Dzhaymurzina A.A. Bakterial'naya vodyanka berezy v severnom Kazakhstane [Bacterial Dropsy of Birch in Northern Kazakhstan]. *Sb. statey mezhdunar. nauchn. konf. "Fitopatogennye bakterii. Fitotsidologiyayu. Allelopatiya". Kiev 4–6 sentyabrya 2005 g.* [Collected Papers Intern. Sci. Conf. "Phytopathogenic Bacteria. Phytoncidology. Allelopathy", Kyiv, 4–6 September 2005]. Zhitomyr, 2005, pp. 79–83.
7. Sinadskiy Yu.V. *Bereza. Ee vrediteli i bolezni* [Birch. Its Pests and Diseases]. Moscow, 1973. 216 p.
8. Skryl'nyk Ju.Je., Koshel'jajeva Ja.V. Pershi rezul'tati vivchennya stovburovikh komakh berezi povisloi (*Betula pendula* Roth.) u Kharkivs'kiy oblasti [The First Results of the Study of Stem Insects of *Betula pendula* (*Betula pendula* Roth.) in the Kharkov Region]. *Visti Harkivs'kogo entomologichnogo tovarystva* [The Kharkov Entomological Society Gazette], 2015, vol. XKHIII, no. 2, pp. 54–58.
9. Fedorov N.I., Kovbasa N.P., Yarmolovich V.A. Bakterial'naya vodyanka berezy – novoe zabojevanie v lesakh Belarusi [Bacterial Dropsy of Birch – a New Disease in the Forests of Belarus]. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2004, no. 12, pp. 277–279.
10. Cherpakov V.V. Bakterial'nye bolezni lesnykh porod v patologii lesa [Bacterial Diseases of Wood Species in Forest Pathology]. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj lesotehnicheskoy akademii (Izvestia SPbLTA)*, 2012, no. 200, pp. 292–303.
11. Shvets' M.V. Pro situaciju berezovyh nasadzen' v lisah Zhytomyrs'kogo Polissja Ukrai'ny [On the Situation of Birch Plantations in the Forests of Zhytomyr Polesye of Ukraine]. *Materialy mizhnar. nauk.-prakt. konf. Harkivs'kyj nacional'nyj agrarnyj universytet* [Proc. Intern. Sci. Pract. Conf. Kharkov National Agrarian University], 2015, pp. 193–196.

Received on March 28, 2017



УДК 634.0.375.4

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.95

ОБОСНОВАНИЕ СРЕДНЕГО РАССТОЯНИЯ ТРЕЛЕВКИ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ ПРИ КОМПЛЕКСНОМ ОСВОЕНИИ ЛЕСНЫХ УЧАСТКОВ

К.П. Рукомойников, д-р техн. наук, доц.

Е.М. Царев, д-р техн. наук, доц.

С.Е. Анисимов, канд. техн. наук, доц.

Поволжский государственный технологический университет, пл. Ленина, д. 3,
г. Йошкар-Ола, Россия, 424000; e-mail: RukomojnikovKP@volgatech.net,
CarevEM@volgatech.net, AnisimovSE@volgatech.net

Для условий малообъемных лесозаготовок форма лесосек напрямую связана с формой таксационных выделов, расположенных на территории лесного квартала. Непрямоугольная форма выделов, а следовательно, и осваиваемых лесосек, различие запасов назначенного в рубку древостоя и видов рубок являются характерными особенностями лесосечных работ при их комплексном ведении на нескольких смежных лесосеках в условиях поквартального освоения лесных участков. Нами предложена методика расчета среднего расстояния трелевки с территории выделенных делянок, отличающаяся возможностью ее использования на лесосеках различной конфигурации в условиях неравномерности распределения запасов древесины по площади и разнообразия технологических схем разработки пасек, характеризующихся криволинейной формой магистральных и пасечных волоков. Методика предусматривает разбиение анализируемых смежных лесосек на ряд простейших геометрических фигур, что позволяет максимально упростить расчеты и свести их к использованию методов дифференциального и интегрального исчисления. Идея базируется на анализе грузовой работы при трелевке лесоматериалов с различных участков смежных лесосек к погрузочным площадкам. Получена универсальная математическая зависимость для определения грузовой работы по трелевке лесоматериалов с участков любой конфигурации в условиях ветвистой структуры размещения на них пасечных и магистральных волоков. Материалы могут быть рекомендованы к использованию при обосновании технологических элементов лесосек, созданных путем объединения нескольких таксационных выделов, в условиях поквартального освоения лесных участков. При внедрении полученных результатов в производство создаются условия для более эффективного раз-

Для цитирования: Рукомойников К.П., Царев Е.М., Анисимов С.Е. Обоснование среднего расстояния трелевки лесоматериалов при комплексном освоении лесных участков // Лесн. журн. 2017. № 4. С. 95–105. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.95

мещения погрузочных пунктов, прокладки трелевочных волоков, сокращаются затраты на освоение лесосек и повышается производительность трелевочной техники. Разработанная методика может быть использована для увеличения эффективности освоения лесных участков и оптимизации лесозаготовительного процесса при прямоугольной форме разрабатываемых лесосек. Полученные нами результаты прошли экспериментальную проверку в производственных условиях и рекомендуются к использованию на предприятиях, заинтересованных в поквартальном освоении лесных участков.

Ключевые слова: лесной квартал, лесозаготовка, трелевка, погрузочный пункт, методика расчета, лесосечные работы, запас леса, ветвистая структура трелевочных волоков.

Введение

Решением вопросов минимизации общей стоимости размещения лесопромышленных складов и развития лесной дорожной сети на территории лесных участков занимались многие ученые [10–12]. Аналогичной и не менее важной задачей при выполнении операций трелевки лесоматериалов к погрузочным пунктам является повышение достоверности расчета основных технологических параметров лесосек.

Известно, что параметры и форма лесосек, выборочных рубок определяются размерами и конфигурацией лесотаксационных выделов с их естественными границами, если при этом не превышена предельная площадь лесосеки и не создана опасность ветровала или других отрицательных последствий [8]. При небольшой площади таких выделов формируемая лесосека может представлять собой объединенный выдел, включающий несколько участков.

В связи с этим при обосновании технологических элементов лесосек необходимо учитывать прямоугольность формы рассматриваемых участков на территории квартала. Одной из характеристик, зависящих от формы и равномерности распределения запасов древесины на территории осваиваемых объединенных выделов, является среднее расстояние трелевки, играющее значительную роль в обосновании производительности и выборе технологии работ в лесу.

Вопросы нахождения оптимального расстояния между погрузочными пунктами и связанные с этим методики нахождения среднего расстояния трелевки древесины на участках прямоугольной формы изложены в работах [3, 9] и др.

В работе [1] рассмотрена методика расчета среднего расстояния трелевки и производительности для трехлинейной аэростатно-канатной транспортной системы на труднодоступных лесных участках треугольной формы. Методика расчета среднего расстояния трелевки лесоматериалов с учетом неэксплуатационных площадей предложена авторами работы [2], методика опи-

сания криволинейных границ выделов, позволяющая определять технологические параметры лесосек с использованием ГИС, в работе [5].

Анализируя вышеперечисленные исследования, можно сделать вывод, что в настоящее время известны методики определения среднего расстояния трелевки и размещения погрузочных пунктов для делянок прямоугольной и непрямоугольной формы. Однако они не учитывают различий вырубаемых запасов, видов рубок на выделах, входящих в состав объединенного выдела [6, 13, 14], возможности непрямолинейного расположения волоков [4, 7] при сочетании различных технологических схем, характерных для реальной практики. Таким образом, для площадей, характеризующихся различием запасов древесины на участках объединенных таксационных выделов с ветвистой и непрямолинейной структурой пасечных и магистральных волоков, эти методики требуют уточнения.

Объекты и методы исследования

Представленная в статье методика предусматривает разбиение анализируемых смежных лесосек на ряд простейших геометрических фигур, что позволяет максимально упростить расчеты и свести их к использованию методов дифференциального и интегрального исчисления.

Для определения среднего расстояния трелевки при комплексном освоении нескольких таксационных выделов рассмотрим лесосеку (рис. 1), расположенную на территории лесного квартала, ограниченного поквартальными просеками 1, примыкающую к непрямолинейной лесовозной дороге 3 и состоящую из двух выделов непрямоугольной формы. Каждый из выделов, входящих в состав лесосеки, характеризуется различными запасами древесины. По абрису лесосеки с указанным положением погрузочного пункта 5 можно определить все геометрические параметры осваиваемого лесного участка. На разных участках рассматриваемой лесосеки предусмотрены различные варианты прокладки пасечных волоков 4. При выполнении работ на лесосеке использована технология с валкой деревьев 2 вершиной на волок.

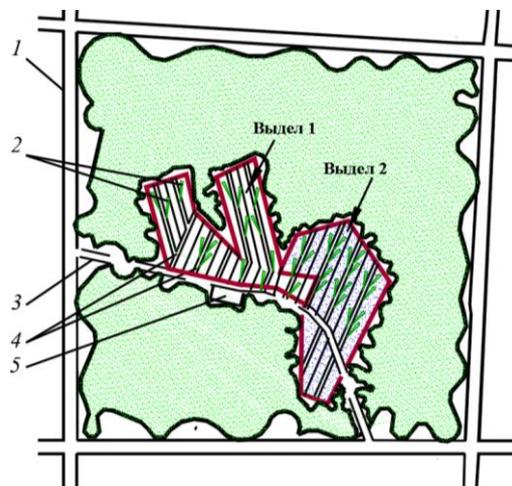


Рис. 1. Технологическая схема освоения лесного квартала к обоснованию методики определения среднего расстояния трелевки лесоматериалов на объединенных выделах непрямоугольной формы

При трансформации формы лесных участков, характеризующихся, помимо формы, показателями, описывающими технологическую схему освоения лесосеки с указанной на ней сетью пасечных и магистральных волоков, разработаны практические рекомендации, позволяющие выполнять рациональное разделение территории лесосеки на ряд геометрических фигур:

проведение секущих прямых осуществляется из точек, соответствующих резким переломам контура исходной геометрической формы каждого из входящих в состав лесосеки таксационных выделов; точек, характеризующих местоположение погрузочных пунктов; точек, соответствующих резким изгибам на участках лесовозной дороги;

деление территории лесосеки на геометрические фигуры производится секущими прямыми линиями, параллельными направлению ближайших к ним пасечных волоков;

конечной точкой каждой секущей прямой является ближайшая точка ее пересечения с участком прямой, характеризующей направление магистрального (пасечного) волока или границы соответствующей ему пасеки;

прямые, ограничивающие исходную геометрическую фигуру, проведенные секущие прямые и прямые, соединяющие конечные их точки, ограничивают собой формы новых геометрических фигур.

Использование предложенных рекомендаций позволяет разделить представленную ранее лесосеку сложной конфигурации на девять простейших геометрических фигур: фигуры 1, 2, 4, 6–9 – примыкают к лесовозной дороге, 3, 5 – удалены от нее; фигуры 1, 2 – расположены по левую стороны от погрузочного пункта, 3–9 – по правую; фигуры 1–7, 9 – имеют форму трапеции, 8 – треугольника (рис. 2).

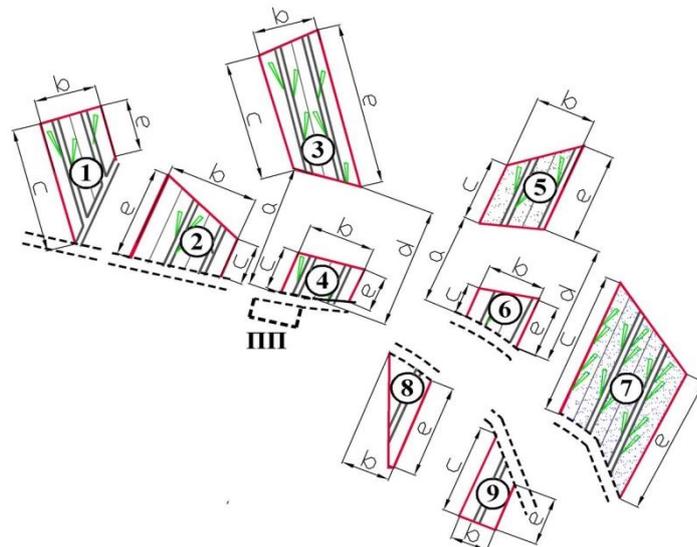


Рис. 2. Вариант деления территории лесосеки на простейшие геометрические фигуры

Каждая фигура имеет собственные размерные характеристики:

a – расстояние от ближнего к погрузочному пункту угла фигуры до ближайшего участка лесовозной дороги или магистрального волока в направлении, к которому осуществляется трелевка лесоматериалов;

d – расстояние от ближней по отношению к погрузочному пункту точки, лежащей на дальней от погрузочного пункта стороне фигуры, параллельной направлению трелевки древесины по фигуре, до ближайшего участка лесовозной дороги или магистрального волока в направлении, к которому осуществляется трелевка лесоматериалов;

c – длина ближней к погрузочному пункту стороны фигуры, параллельной направлению трелевки древесины по ней;

e – длина удаленной от погрузочного пункта стороны фигуры, параллельной направлению трелевки древесины по ней;

b – длина проекции фигуры на плоскость, перпендикулярную расположенным на ее территории пасечным волокам;

m – расстояние от погрузочного пункта до ближнего к нему угла фигуры за вычетом характеризующего ее показателя a .

Рассмотрим фигуру 3, имеющую форму трапеции и находящуюся на расстоянии от магистрального волока (рис. 3).

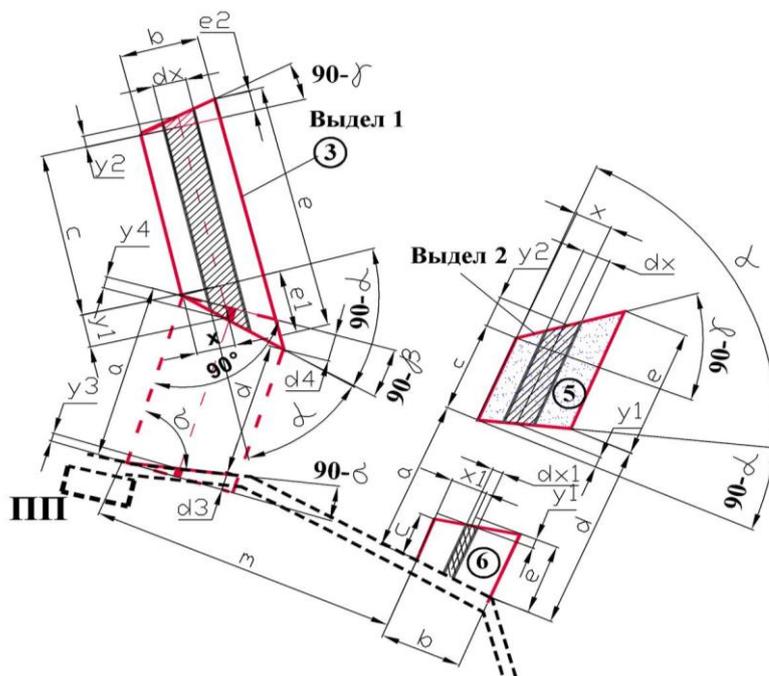


Рис. 3. Расчетная схема для определения среднего расстояния трелевки на участках различной конфигурации

Подобная форма и размещение представляют общий случай расположения выделов в составе объединенного выдела. Участки другой геометрической формы или же примыкающие к магистральному волоку являются частными случаями решения задачи.

Для определения среднего расстояния трелевки выделим в трапеции элементарную площадку dx . Площадь вертикальной элементарной площадки

$$dS = (c + y_1 + y_2)dx.$$

Из рис. 3 видно, что

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{y_1}{x} = \frac{e_1}{b}; \operatorname{tg} \gamma = \frac{y_2}{x} = \frac{e_2}{b}; y_1 = \frac{e_1}{b}x; y_2 = \frac{e_2}{b}x.$$

С учетом представленных выше уравнений получим:

$$dS = \left(c + \frac{e_1}{b}x + \frac{e_2}{b}x\right) dx = \left(c + (e_1 + e_2)\frac{x}{b}\right) dx = \left(c + (e - c)\frac{x}{b}\right) dx.$$

Расстояние трелевки с элементарной площадки можно определить по следующей формуле:

$$l_3 = \frac{(c + y_1 + y_2)}{2} + m + \frac{x \cos \beta}{\cos \alpha \cos \sigma} + a - y_3 - y_4.$$

Как видно из рис. 3,

$$\sin \sigma = \frac{y_3 \cos \alpha}{x} = \frac{d_3 \cos \alpha}{b}; \sin \beta = \frac{y_4 \cos \alpha}{x} = \frac{d_4 \cos \alpha}{b}.$$

Следовательно,

$$y_3 = \frac{d_3 x}{b}; y_4 = \frac{d_4 x}{b}.$$

Подставим полученные закономерности в предложенную ранее формулу для расчета расстояния трелевки с элементарной площадки:

$$l_3 = l_3^M + l_3^П,$$

где l_3^M – расстояние трелевки с элементарной площадки по магистральным волокам, м:

$$l_3^M = m + \frac{x \cos(90 - \beta)}{\cos(90 - \alpha) \cdot \cos(90 - \sigma)};$$

β – острый угол между пасечными волоками, отходящими от фигуры, и стороной фигуры, пересекающей их в направлении, противоположном направлению трелевки лесоматериалов;

α – острый угол между пасечными волоками фигуры и стороной фигуры, пересекающей их в направлении трелевки лесоматериалов, ...°;

σ – острый угол между пасечными волоками, отходящими от фигуры, и магистральным волоком (лесовозной дорогой), пересекающим их в направлении трелевки лесоматериалов;

$l_3^П$ – расстояние трелевки с элементарной площадки по пасечным волокам, м:

$$l_3^П = \frac{\left(c + (e - c)\frac{x}{b}\right)}{2} + a - \frac{x}{b}(a - d).$$

Тогда

$$\ell_3 = \frac{\left(c + (e - c) \frac{x}{b}\right)}{2} + m + \frac{x \cos(90 - \beta)}{\cos(90 - \alpha) \cdot \cos(90 - \sigma)} + a - \frac{x}{b}(a - d).$$

Грузовая работа (R_y , м³·м), затрачиваемая на трелевку лесоматериалов с фигуры к лесопогрузочному пункту, составит:
по пасечным волокнам

$$R_y = \frac{q_i}{10^4} \int_0^b \ell_3^M dS =$$

$$= \frac{q_i}{10^4} \int_0^b \left[\left(\frac{\left(c + (e - c) \frac{x}{b}\right)}{2} + a - \frac{x}{b}(a - d) \right) \left(c + (e - c) \frac{x}{b} \right) \right] dx =$$

$$= \frac{q_i b}{6 \cdot 10^4} [c(c + 2a + d + e) + e(a + 2d + e)];$$

по магистральным волокнам

$$R_y = \frac{q_i}{10^4} \int_0^b \ell_3^M dS = \frac{q_i}{10^4} \int_0^b \left[(m + xf) \left(c + (e - c) \frac{x}{b} \right) \right] dx =$$

$$= \frac{q_i}{10^4} \left[\frac{b^2 f \left(e + \frac{c}{2} \right)}{3} + \frac{bm(e + c)}{2} \right],$$

где q_i – средний вырубемый запас на фигуре, м³;

$$f = \frac{\cos(90 - \beta)}{\cos(90 - \alpha) \cdot \cos(90 - \sigma)}.$$

Результаты исследования и их обсуждение

В результате исследования установлено, что общая грузовая работа, затрачиваемая на трелевку лесоматериалов с любого участка, представленного в виде правильной геометрической фигуры, к погрузочному пункту, составит

$$R_y = \frac{q_i}{10^4} \int_0^b \ell_3 dS = \frac{q_i}{10^4} \times$$

$$\times \int_0^b \left[\left(\frac{\left(c + (e - c) \frac{x}{b}\right)}{2} + m + xf + a - \frac{x}{b}(a - d) \right) \left(c + (e - c) \frac{x}{b} \right) \right] dx =$$

$$= \frac{q_i b}{6 \cdot 10^4} [c(c + fb + d + 2a + 3m + e) + e(a + 2fb + 2d + 3m + e)].$$

При $a = d$ и $c = e$ трапеция приобретает форму прямоугольника, при $c = 0$ или $e = 0$ – треугольника. Если показатели $a = 0$, $d = 0$, $\beta = 0$ и $\sigma = 0$, то появляется возможность проанализировать фигуры, примыкающие к маги-

стральному волоку (лесовозной дороге). Примерами могут служить представленные на расчетной схеме (рис. 3) фигуры 5 и 6, среднее расстояние трелевки на которых может быть рассчитано без каких-либо преобразований приведенной зависимости.

При α , β , σ , отличных от 0, появляется возможность анализа делянок с резким изменением направления трелевочных волоков.

Если конфигурация делянки имеет сложную форму или состоит из нескольких выделов различной формы и размеров, на территории которых проводятся различные виды рубок, то среднее расстояние трелевки может быть определено по следующей формуле [3]:

$$\ell_{\text{ср}} = \frac{\sum_{y=1}^n R_y}{Q_n},$$

где y – количество фигур различной конфигурации, тяготеющих к одному погрузочному пункту, $y = 1 \dots n$;

Q_n – общий вырубемый запас на делянке, м³.

Заключение

Представленные в статье результаты прошли экспериментальную проверку в производственных условиях и рекомендуются к использованию на предприятиях, осуществляющих поквартальное освоение лесных участков, при обосновании технологических элементов лесосек, созданных путем объединения нескольких таксационных выделов.

Внедрение полученных результатов в производство создает условия для эффективного размещения погрузочных пунктов, прокладки трелевочных волоков, сокращения затрат на освоение лесосек и повышения производительности трелевочной техники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абузов А.В., Рябухин П.Б. К вопросу определения среднего расстояния трелевки и производительности трехлинейной азростатно-канатной системы // Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 2014. № 2-S. С. 42–46.
2. Дербин В.М., Дербин М.В., Туфанов М.Н. Среднее расстояние трелевки при разработке делянки с учетом неэксплуатационных площадей // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы междунар. науч.-техн. конф., Вологда, 11–13 дек. 2012 г. Вологда, 2013. С. 57–60.
3. Кочегаров В.Г., Бит Ю.А., Меньшиков В.Н. Технология и машины лесосечных работ: учеб. для вузов. М.: Лесн. пром-сть, 1990. 92 с.
4. Пискунов М.А., Воронова А.М. Исследование и классификация действительных схем размещения волоков на лесосеке при сортиментной технологии заготовки леса // Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 2011. № 3. С. 77–80.

5. Рожнецова Н.И. Совершенствование методики проектирования лесосечных работ с использованием элементов ГИС: дис. ... канд. техн. наук. Йошкар-Ола, 2008. 139 с.

6. Рукомойников К.П. Развитие инфраструктуры поквартального освоения участков лесного фонда // Лесн. журн. 2008. № 2. С. 37–41. (Изв. высш. учеб. заведений).

7. Рукомойников К.П. Обоснование технологических параметров лесосек различной конфигурации с неравномерным распределением запасов и ветвистой структурой трелевочных волоков // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1. Режим доступа: <http://www.science-education.ru/121-17133>

8. Тренин В.В. Основы лесного хозяйства для лесопользователей. Петрозаводск: Карел. НЦ РАН, 2007. 168 с.

9. Ширнин Ю.А., Рожнецова Н.И. Технологические параметры лесосек с границами, полученными на основе ГИС // Вестн. Марийского гос. технолог. ун-та. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2008. № 1. С. 40–47.

10. Akay A.E. Minimizing Total Cost Of Construction, Maintenance, and Transportation Costs with Computer-Aided Forest Road Design: Dr. Phil. For. Diss. Oregon USA, 2003. 245 p.

11. Çalişkan E. Planning of Forest Road Network and Analysis In Mountainous Area // Life Science Journal. 2013. Vol. 10, no. 2. Pp. 2456–2465.

12. Gerasimov Y., Senko S., Karjalainen T. Prospects of Forest Road Infrastructure Development in Northwest Russia with Proven Nordic Solutions // Scand. J. For. Res. 2013. Vol. 28, no. 8. Pp. 758–774.

13. Rukomojnikov K.P. Technical and Technological Aspects of Progressive Cutting Forest Compartment with Combined Reforestation // World Applied Sciences Journal. 2013. Vol. 24, iss. 11. Pp. 1429–1434.

14. Rukomojnikov K.P. Structuring of Loading Points and Main Skid Road in Conditions of Existing Road Network in Forest Compartment // Journal of Applied Engineering Science. 2015. No.13(3). P. 326–332.

Поступила 12.04.17

UDC 634.0.375.4

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.95

Substantiation of Average Distance of Skid Logging during Integrated Development of Forest Divisions

K.P. Rukomojnikov, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor

E.M. Tsarev, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor

S.E. Anisimov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

Volga State University of Technology, pl. Lenina, 3, Yoshkar-Ola, Mari El Republic, 424000, Russian Federation; e-mail: rukomojnikovKP@volgatech.net, CarevEM@volgatech.net, anisimovSE@volgatech.net

For citation: Rukomojnikov K.P., Tsarev E.M., Anisimov S.E. Substantiation of Average Distance of Skid Logging during Integrated Development of Forest Divisions. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 4, pp. 95–105. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.95

For the conditions of small-volume logging, the form of cutting areas is directly related to the form of stratum located in the forest compartment. The nonrectangular shape of stratum, and, consequently, of cutting areas, the difference of timber volume and types of felling are the characteristic features of logging activities of integrated management in several adjacent cutting areas under conditions of compartment reclamation of forest sites. The article presents the calculation methods of the average skidding distance from the territory of the selected plots. The technique can be used at logging sites of different configurations in conditions of uneven distribution of timber volumes on the logging sites and variety of skidding patterns, characterized by a curved shape of the main and secondary logways. The method provides the subdivision of analyzed adjacent felling areas into a number of the simplest geometric figures. This approach allows simplifying calculations and reducing them to the use of methods of differential and integral calculation. The idea is based on the analysis of cargo operations when timber skidding from the different parts of adjacent cutting areas to loading points. We have obtained the universal mathematical dependence for the definition of skid logging cargo operations from the areas of any configuration in conditions of branched structure of skid roads. Data of this article can be recommended for substantiating the technological elements of cutting areas created by combining of several stratum under conditions of compartment reclamation of forest sites. When introducing the results of this publication into production, the conditions for a more efficient distribution of loading points and skidding trails can be created; costs for cutting areas reclamation can be reduced and performance of skidding equipment can be increased. The developed technique can be used to increase the efficiency of reclamation of forest areas and optimization of logging process when developing cutting areas of the nonrectangular shape. The presented results are experimentally verified in a production environment and are recommended for the use in enterprises interested in a compartment reclamation of forest sites.

Keywords: forest compartment, logging, skidding, loading point, calculation methods, cutting area work, standing volume, branched structure of skidding trail.

REFERENCES

1. Abuzov A.V., Ryabukhin P.B. K voprosu opredeleniya srednego rasstoyaniya trelevki i proizvoditel'nosti trekhlineynoy aerostatno-kanatnoy sistemy [On the Determination of the Average Distance Skidding and Productivity Trilinear Balloon–String Systems]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik* [Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoy Vestnik], 2014, no. 2-s, pp. 42–46.
2. Derbin V.M., Derbin M.V., Tufanov M.N. Srednee rasstoyanie trelevki pri razrabotke delyanki s uchetom neekspluatatsionnykh ploshchadey [The Average Distance of Skidding in the Development of Cutting Area Taking into Account the Commercial Forest Lands]. *Aktual'nye problemy razvitiya lesnogo kompleksa: materialy mezhdunar. nauch.-tekhn. konf., Vologda, 11–13 dek. 2012 g.* [Actual Problems of Development of the Forest Sector: Proc. Intern. Sci. Eng. Conf., Vologda, 11–13 December 2012]. Vologda, 2013, pp. 57–60.
3. Kochegarov V.G., Bit Yu.A., Men'shikov V.N. *Tekhnologiya i mashiny lesosechnykh rabot: ucheb. dlya vuzov* [Technology and Machines for Logging Operations]. Moscow, 1990. 392 p.

4. Piskunov M.A., Voronova A.M. Issledovanie i klassifikatsiya deystvitel'nykh skhem razmeshcheniya volokov na lesoseke pri sortimentnoy tekhnologii zagotovki lesa [Investigation and Classification of Real Schemes of Placing Skidding Trails on the Cutting Area in Shortwood Logging]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik* [Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoy Vestnik], 2011, no. 3, pp. 77–80.

5. Rozhentsova N.I. *Sovershenstvovanie metodiki proektirovaniya lesosechnykh rabot s ispol'zovaniem elementov GIS*: dis. ... kand. tekhn. nauk [Improvement of Methods for Designing Logging Operations Using Elements of GIS: Cand. Eng. Sci. Diss.]. Yoshkar-Ola, 2008. 138 p.

6. Rukomojnikov K.P. Razvitie infrastruktury pokvartal'nogo osvoeniya uchastkov lesnogo fonda [Infrastructure Development of Compartment Reclamation of Forest Sites]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2008, no. 2, pp. 36–41.

7. Rukomojnikov K.P. Obosnovanie tekhnologicheskikh parametrov lesosek razlichnoy konfiguratsii s neravnomernym raspredeleniem zapasov i vetvistoy strukturoy trelevochnykh volokov [Justification of Technological Parameters of Cutting Areas with Different Configurations, Uneven Distribution of Timber Volume and Branched Structure of Skid Trails]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern Problems of Science and Education], 2015, no. 1-1. Available at: www.science-education.ru/121-17133.

8. Trenin V.V. *Osnovy lesnogo khozyaystva dlya lesopol'zovateley* [Fundamentals of Forestry for Forest Users]. Petrozavodsk, 2007. 168 p.

9. Shirnin Yu.A., Rozhentsova N.I. Tekhnologicheskie parametry lesosek s granitsami, poluchennymi na osnove GIS [Technological Parameters of Cutting Area Borders Obtained on the Basis of GIS]. *Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Ser.: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie* [Vestnik of Mari State Technical University. Series “Forest. Ecology. Nature management”], 2008, no. 1, pp. 40–47.

10. Akay A.E. *Minimizing Total Cost of Construction, Maintenance, and Transportation Costs with Computer-Aided Forest Road Design*: Dr. Phil. For. Eng. Diss. Oregon, USA, 2003. 245 p.

11. Çalişkan E. Planning of Forest Road Network and Analysis in Mountainous Area. *Life Science Journal*, 2013, vol. 10, no. 2, pp. 2456–2465.

12. Gerasimov Yu., Senko S., Karjalainen T. Prospects of Forest Road Infrastructure Development in Northwest Russia with Proven Nordic Solutions. *Scand. J. For. Res.*, 2013, vol. 28, no. 8, pp. 758–774.

13. Rukomojnikov K.P. Technical and Technological Aspects of Progressive Cutting Forest Compartment with Combined Reforestation. *World Applied Sciences Journal*, 2013, vol. 24, iss. 11, pp. 1429–1434.

14. Rukomojnikov K.P. Structuring of Loading Points and Main Skid Road in Conditions of Existing Road Network in Forest Compartment. *Journal of Applied Engineering Science*, 2015, no. 13(3), pp. 326–332.

Received on April 12, 2017

УДК 630*232.211
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.106

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АГРЕГАТА ДЛЯ ПониЖЕНИЯ ПНЕЙ И РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ЕГО РАБОЧЕГО ОРГАНА

*С.Н. Орловский¹, канд. техн. наук, доц.
А.И. Карнаухов², канд. техн. наук, доц.*

¹Красноярский государственный аграрный университет, пр. Мира, д. 90, г. Красноярск, Россия, 660049; e-mail: orlovskiysergey@mail.ru

²Сибирский государственный аэрокосмический университет им. академика М.Ф. Решетнёва, пр. Мира, д. 82, а/я 1075, г. Красноярск, Россия, 660049; e-mail: Sky_angel_33@mail.ru

Обоснование энергетических и динамических параметров агрегата для понижения пней является важным вопросом при выполнении лесовосстановительных работ. Также актуально определение оптимальных конструктивных параметров фрезерного рабочего органа агрегата и режимов его работы. Цели данных теоретических исследований – обоснование возможностей преодоления перегрузок при встрече рабочего органа с пнем за счет кинетической энергии вращающихся масс двигателя, трансмиссии и фрезы; определение оптимальных энергетических и динамических параметров агрегата; теоретический анализ процесса дробления пня фрезерным рабочим органом, позволяющий в дальнейшем решить задачу оптимизации конструктивных и геометрических параметров рабочего органа, а также режимов его работы по критерию минимума энергоемкости. Программа исследований предусматривала изучение возможности преодоления перегрузок посредством подбора оптимальных значений частоты вращения рабочего органа, мощности двигателя, момента инерции агрегата, скорости его движения по критерию допустимого коэффициента загрузки двигателя трактора, рациональных по критерию минимума энергоемкости режимов резания и углов установки резцов. Исследования проводили теоретически на основании созданных авторами компьютерных программ Dina 2 и Freza_n, что позволило обосновать параметры агрегата и его рабочего органа на стадии проектирования. На основании полученных результатов возможно обосновать выбор базового трактора, конструкцию и компоновку тракторного лесохозяйственного агрегата для понижения пней с рабочим органом в виде фрезы фронтальной навески и определить мощностные и динамические параметры такого агрегата, что позволит увеличить производительность труда и снизить утомляемость оператора.

Ключевые слова: понижение пней, динамические параметры, резание, отбрасывание продуктов резания, оптимизация.

Для цитирования: Орловский С.Н., Карнаухов А.И. Методика расчета энергетических и динамических параметров агрегата для понижения пней и режимов резания его рабочего органа // Лесн. журн. 2017. № 4. С. 106–115. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.106

Введение

Агрегат для срезания пней представляет собой навесной механизм, компонованный с гусеничным трелевочным трактором, оборудованным системой отбора мощности и передней навеской. Особенность агрегата рассматриваемой конструкции заключается в выполнении технологического процесса срезания пней в режиме непрерывного движения, оптимизации энергетических и динамических параметров и наличии гидравлического привода его рабочего органа.

Цели исследования:

обоснование возможностей преодоления перегрузок при встрече рабочего органа с пнем за счет кинетической энергии вращающихся масс двигателя, трансмиссии и фрезы;

определение оптимальных энергетических и динамических параметров агрегата;

теоретический анализ процесса резания пня фрезерным рабочим органом и отбрасывания продуктов резания, позволяющий в дальнейшем решить задачу оптимизации конструктивных и геометрических параметров рабочего органа, а также режимов работы по критерию минимума энергоемкости.

При этом необходимо:

произвести расчет динамической системы лесохозяйственного агрегата с активным рабочим органом при детерминированных законах возмущающих сил и определить оптимальные энергетические и динамические параметры агрегата по критерию минимума энергоемкости;

рассчитать режимы срезания пней и конструкцию рабочего органа.

Материалы и методы исследования

Наиболее эффективным устройством для удаления надземной части пней является машина МУП-4. Однако существующая технология срезания пней с ее помощью на базе трактора ТДТ-55А (ЛХТ-100С) и разработанное под нее орудие имеют существенный недостаток, заключающийся в том, что трансмиссия привода рабочего органа конструктивно сложна. Главный недостаток МУП-4 – цикличность работы, что не только требует осуществления большого количества операций по управлению, но и снижает производительность труда.

Наиболее перспективной является фреза с гидростатическим приводом рабочего органа и обоснованными по моменту инерции параметрами, режимами резания и геометрией резцов [2, 8].

Технология использования нового агрегата не предполагает остановку перед каждым пнем для его срезания, что значительно увеличивает площадь обработки и количество срезаемых пней, а значит, снижает стоимость обработки 1 га площади. Орудие работает следующим образом. Трактор движется на рабочей скорости, оператор по ходу движения направляет стрелу на пень. Мощность двигателя, гидравлический привод рабочего органа, запас кинетической энергии вращающихся масс и телескопическая подпружиненная стре-

ла обеспечивают безостановочное дробление пня. Крутящий момент от действия сил инерции вращающихся и поступательно движущихся масс агрегата способствует преодолению временно возросшего момента сопротивления.

Динамическая система рассматриваемого лесохозяйственного агрегата при исследовании ее взаимодействия с разрабатываемой средой приводится к жесткой одномассовой линейной динамической системе, которая описывается дифференциальным уравнением второго порядка с постоянными коэффициентами, что позволяет рассматривать ее в виде линейной модели. Расчет переходного процесса агрегата подробно рассмотрен в работах [3, 5]. Для его выполнения автором была разработана компьютерная программа Dina 2 [6].

Результаты исследования и их обсуждение

Оптимизацию энергетических и динамических параметров лесохозяйственного агрегата проводят в следующей последовательности. На основании математической модели одномассовой динамической системы агрегата при детерминированных внешних воздействиях и значениях констант моторно-трансмиссионной установки агрегата в программе Dina 2 рассчитывают таблицы средних значений динамической реакции агрегата на вынужденные перегрузки ($K_{ср.опт}$), определяют оптимально допустимое снижение угловой скорости коленчатого вала ($\Delta\omega_{опт}$, c^{-1}) и время эффективной отдачи кинетической энергии инерционными массами агрегата ($t_{опт}$, с). Вероятные значения длительности участков перегрузки (τ_n , с), коэффициентов динамичности ($K_{д.ср}$) при выполнении технологического процесса принимают по времени прорезания пня на первой передаче с учетом сжатия стрелы на длину хода.

По результатам расчетов определяют:

степень соответствия динамических параметров агрегата динамике внешних условий (K_c) и оптимальную степень загрузки двигателя ($K_{з.опт}$);

оптимальную скорость движения при выполнении технологического процесса ($V_{опт}$, м/с);

требуемую мощность двигателя ($N_{е.р}$, кВт);

оптимальный момент инерции ($J_{опт}$, $кг \cdot м^2$) агрегата, приведенный к коленчатому валу двигателя энергетического средства.

Варьируемыми параметрами при расчетах могут быть моменты инерции, мощности двигателей, скорости движения. Их оптимальное сочетание достигается по критериям минимизации энергетических параметров агрегата при выполнении технологического процесса в заданных условиях с максимальной производительностью, что улучшает его технико-эксплуатационные параметры.

Средние значения динамической реакции полностью отражают работу сил инерции при снижении угловой скорости вала двигателя. Расчет переходного процесса агрегата выполняют на основании следующих исходных данных: угловой скорости (ω_p) коленчатого вала и крутящего

момента ($M_{e,p}$) при номинальной мощности двигателя; снижения угловой скорости ($\Delta\omega$), допустимой для данного двигателя; допустимого снижения угловой скорости (ω_M)*; приведенного к валу двигателя момента инерции агрегата (J_Σ); коэффициента приспособляемости (K_Π); интервала снижения угловой скорости (Δt); длительности анализируемого периода (τ).

Входные данные программы Dina 2 представлены в табл. 1.

Таблица 1

Данные, вводимые в программу Dina 2

Исходные данные		Значения для расчета
в алгоритме	по программе	
ω_p	omp=	230,27
$M_{e,p}$	Me=	421,72
$\Delta\omega$	dom=	62,83
J_Σ	Jsigma=	4,55
K_Π	KPi=	1,12
$\Delta\tau$	dtau=	0,50
τ_{max}	taumax=	10,00
dt	dt=	0,50
$K_{д.ср.макс}$	Kdsrm=	2,40

График зависимости снижения угловой скорости коленчатого вала двигателя от длительности перегрузки показан на рис. 1.

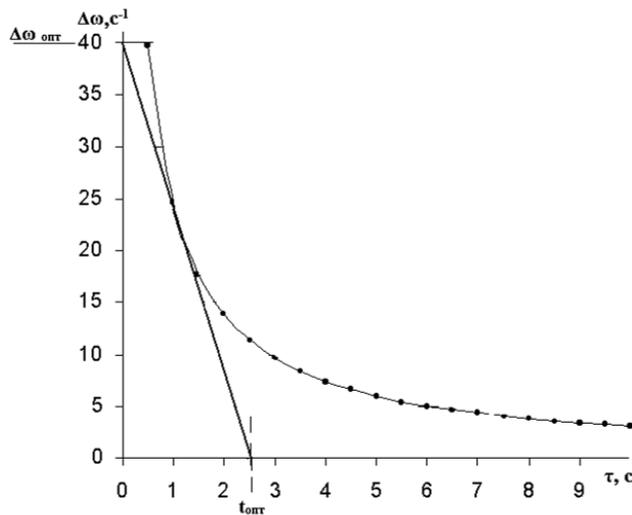


Рис. 1. Зависимость $\omega = f(\tau)$ для трактора ТЛТ-100С с двигателем Deutz BF4M 1013EC на первой передаче

* Принимается угловая скорость при максимальном значении крутящего момента.

Касательная к кривой отсекает на оси абсцисс оптимальное значение длительности перегрузки $t_{\text{опт}}$, которую может преодолевать агрегат с данными параметрами [3].

Для рассматриваемого агрегата на базе трактора ТЛТ-100С получаем степень соответствия динамических параметров агрегата динамике внешних условий $K_c = 0,94$. Целесообразная (оптимальная) степень загрузки двигателя $K_{z,\text{опт}} = 0,9$. Оптимальная скорость движения агрегата $V_{\text{опт}} = 0,79$ м/с. Рациональная мощность двигателя $N_{e,p} = 88,5$ кВт. Приведенный к коленчатому валу двигателя момент инерции агрегата $J_{\text{опт}} = 3,56$ кг·м².

В стоимостном выражении изменение момента инерции вращающихся масс дешевле, чем применение трактора с двигателем повышенной мощности. Вариантом увеличения момента инерции вращающихся масс для изменения динамических параметров агрегата в условиях эксплуатации, вызывающих неустановившийся режим работы двигателя трактора, может быть установка дополнительного груза на фрезу орудия [3].

Для расчета режимов резания пней основные параметры орудия взяты из теоретических исследований, а также из соответствующих рекомендаций, полученных экспериментальным путем при исследовании взятого за образец орудия МУП-4. Скорость резания пней фрезерным рабочим органом принята 20 м/с на основании [1, 2, 8].

Для проектируемого рабочего органа агрегата производится поиск путей снижения энергоемкости процесса. Основные параметры рабочего органа заданы в качестве исходных к проекту и приведены ниже.

Ширина основания ротора	1,15...1,20 м
Максимальный диаметр срезаемого пня	1,0...1,2 м
Угол заточки резцов:	
подрезных	56°
скальвающих	45°
Угол установки ножей от вертикальной плоскости	15°
Рабочая скорость трактора ($V_{\text{дв}}$)	0,8 м/с
Скорость резания ($V_{\text{рез}}$)	20 м/с

Пень представляет собой волокнистую среду, для расчетов резания которой могут быть использованы математические зависимости, основывающиеся на законах теории упругости и пластичности и на теоретических предположениях С.Н. Орловского и А.И. Карнаухова [3, 4]. Их применение позволило на основе физико-математической модели разработать методику и получить уравнения для определения аналитическим методом энергоемкости резания и метания древесных включений рабочим органом агрегата.

Затраты мощности на процесс поперечного фрезерования пней (N , кВт) можно представить в виде суммы затрат мощности на резание пней ($N_{\text{рез}}$) и отбрасывание древесной щепы ($N_{\text{отб}}$) [2, 3]:

$$N = N_{\text{рез}} + N_{\text{отб}}.$$

Для рассматриваемой фрезы толщина срезаемой стружки [2, 3]

$$\delta_{\text{ср}} = 6,28 \frac{V_{\text{дв}} R_{\phi}}{V_{\text{рез}} z},$$

где R_f – радиус фрезы, м;
 z – число ножей фрезы, шт.

Для скоростей движения (0,8 и 1,5 м/с) и резания (20, 30 и 40 м/с) при количестве ножей на барабане фрезы 44 шт. толщина срезаемой стружки $\delta_{ср} = 1,7 \dots 6,8$ мм, для принятых скоростей движения и резания (соответственно 0,8 и 20 м/с) $\delta_{ср} = 3,4$ мм.

Энергию, расходуемую на резание пней (E_n , Дж/м³), определим по выражению [4]:

$$E_n = \left(78 - V_{рез} \left(0,9 - \frac{9,55z}{V_{дв} R_f} \right) \right) 10\xi,$$

где ξ – степень пнистости, принимается равной 100 %.

Затраты мощности на срезание пня

$$N = E_n \Pi,$$

где Π – производительность, м/с³.

Удельную работу на сообщение кинетической энергии отбрасываемой древесной щепе ($e_{отб}$, Дж/м³) рассчитаем по выражению [6]:

$$e_{отб} = \frac{\gamma V_{рез}^2 \eta_{отб}}{2},$$

где γ – удельный вес щепы, $\gamma = 8000$ Н/м;

$\eta_{отб}$ – коэффициент полезного действия (КПД) отбрасывания щепы.

Расчет затрат мощности на выполнение технологического процесса в зависимости от скоростей резания и движения, а также геометрических параметров резцов и рабочего органа произведен в программе Freza_n [7].

В табл. 2 представлен фрагмент результатов расчетов затрат мощности на дробление пня N_{pn} и отбрасывание продуктов резания фрезой $Notb$ по программе Freza_n в зависимости от скоростей резания V_p и движения V_d , углов установки резцов относительно плоскостей вращения α и резания β фрезы.

Таблица 2

Результаты исследования затрат мощности на дробление пня и отбрасывание продуктов резания фрезой в зависимости от скоростей резания и движения, углов установки резцов и резания

V_p	V_d	α	β	N_{pn}	$Notb$
м/с		...°		кВт	
20	0,8	15	30	57 071,40	12 465,47
20	0,8	15	40	57 071,40	12 465,47
20	0,8	15	50	57 071,40	12 465,47
20	0,8	20	30	57 071,40	12 465,47
20	0,8	20	40	57 071,40	12 465,47
20	0,8	20	50	57 071,40	12 465,47
20	0,8	30	30	57 071,40	12 465,47
20	0,8	30	40	57 071,40	12 465,47
20	0,8	30	50	57 071,40	12 465,47
20	1,6	15	30	57 266,32	24 930,93

Как следует из полученных данных, на энергоёмкость процесса основное влияние оказывают скорости резания и подачи (движения), углы заострения резцов и их наклона к плоскости резания на затраты мощности практически не влияют. Зависимость затрат мощности от скоростей резания и движения приведена на рис. 2.

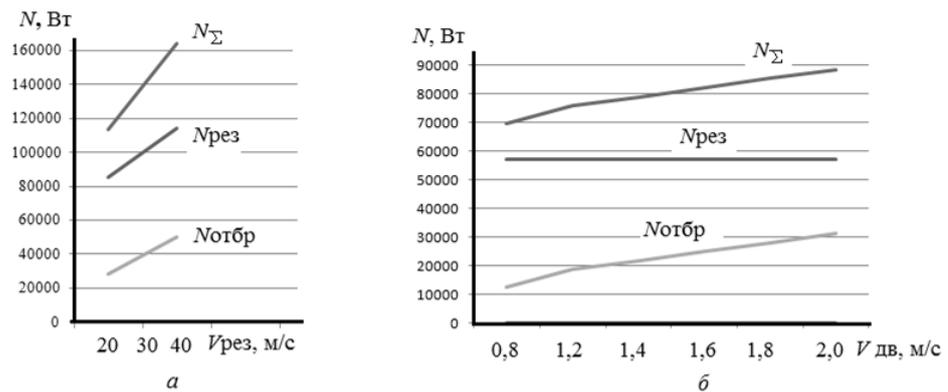


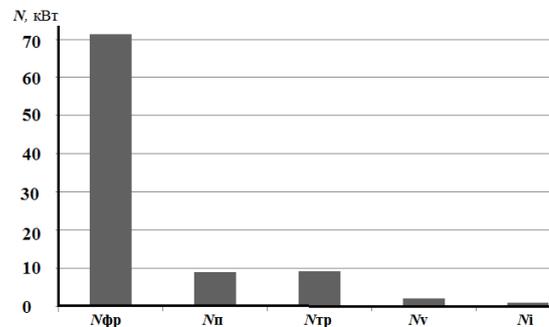
Рис. 2. Влияние скоростей резания (а) и движения (б) на затраты мощности на дробление пня и отбрасывание продуктов резания: а – при $V_{дв} = 0,8$ м/с; б – при $V_{рез} = 20$ м/с

Затраты мощности на дробление пня находятся в прямой зависимости от скорости резания, в меньшей степени – от скорости движения. Кинетическая энергия, сообщаемая отбрасываемым продуктам резания, с повышением скорости движения увеличивается незначительно, но находится в прямой зависимости от скорости резания.

Из приведенных на рис. 2, а графиков следует, что при изменении скорости резания от 20 до 30 м/с энергозатраты возрастают на 149 %, от 30 до 40 м/с – на 133 %. В то же время изменение скорости движения в пределах 0,8...2,0 м/с при скорости резания 20 м/с (рис. 2, б) вызывает увеличение затрат мощности на сообщение кинетической энергии отбрасываемым продуктам резания на 250 %.

На рис. 3 представлена диаграмма баланса мощности предлагаемого нами агрегата.

Рис. 3. Диаграмма баланса затрат мощности на срезание пней по элементам технологического процесса: $N_{фр}$ – на привод фрезы; $N_{п}$ – на передвижение агрегата; $N_{тр}$ – на потери в трансмиссии; $N_{в}$ – на буксование и повороты; N_i – на преодоление сил инерции



Коэффициент загрузки по мощности двигателя трактора для агрегата в составе ТЛТ-100С с разрабатываемым орудием составит 0,92.

Заключение

Комплекс созданных в процессе исследования программных средств позволил оценить степень соответствия динамических параметров лесохозяйственного агрегата динамике сил сопротивления; наметить пути совершенствования его конструкции в направлении повышения КПД и производительности; оптимизировать конструктивные и геометрические параметры активных рабочих органов, а также режимы резания разрабатываемой среды в процессе проектирования.

Динамические показатели агрегата для понижения пней нуждаются в улучшении за счет выбора оптимальных значений скорости, мощности двигателя и момента инерции вращающихся масс.

Повышение эффективности использования агрегата для понижения пней возможно за счет оптимизации его энергетических и динамических параметров в соответствии с динамикой сил сопротивления, выбором рациональных режимов резания и геометрии резцов.

Применение энергетических средств с оптимизированными к условиям работы параметрами позволит повысить КПД и производительность агрегатов, обеспечить рациональный коэффициент загрузки двигателей, сократить затраты энергии на выполнение лесохозяйственных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Драпалюк М.В., Батищев С.Н. Результаты теоретического исследования виброударной машины для удаления пней // Лесн. журн. 2011. № 3. С. 51–57. (Изв. высш. учеб. заведений).
2. Карнаухов А.И. Лесопожарные агрегаты с торцевой фрезой. Концепция энергосбережения: моногр. для студентов, преподавателей и науч. работников техн. вузов. Красноярск: СибГТУ, 2011. 220 с.
3. Орловский С.Н. Определение энергетических и динамических параметров тракторов, режимов резания активных рабочих органов машинно-тракторных агрегатов: моногр. Красноярск: КрасГАУ, 2011. 376 с.
4. 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).
5. Орловский С.Н., Филимонов Э.Г. Оптимальные параметры лесопожарных агрегатов // Лесн. журн. 1994. № 1. С. 32–37. (Изв. высш. учеб. заведений).
6. Расчет динамики тракторных агрегатов (Dina 2): свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2007610362 / Орловский С.Н., Комиссаров С.В.; заявка № 2006613950; зарег. в Реестре программ 19.01.2007.

7. Расчет энергоемкости резания лесных почв с подстилкой торцовыми фрезами и затрат мощности на резание и выполнение технологического процесса (Fresa_n): свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2007610363 / Орловский С.Н., Комиссаров С.В., Карнаухов А.И.; заявка № 2006613951; зарег. в Реестре программ для ЭВМ 19.01.2007.

8. Cormmier D., Ryans M. The Use of Piling Rakes for a Logging Debris Problem // Canadian Forest Industries. 1988. No. 11. Pp. 27–32.

Поступила 23.01.17

UDC 630*232.211

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.106

Calculation Methodology of Energy and Dynamic Parameters of the Stump Lowering Device and Cutting Conditions of Its Working Member

S.N. Orlovskiy¹, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

A.I. Karnaukhov², Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

¹Krasnoyarsk State Agrarian University, pr. Mira, 90, Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation; e-mail: orlovskiysergey@mail.ru

²Siberian State Aerospace University named after academician M.F. Reshetnev, pr. Mira, 82, Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation; e-mail: Sky_angel_33@mail.ru

Substantiation of energy and dynamic parameters of a stump lowering device during the reforestation process is a priority. Calculation of optimum design parameters of a milling working member of the unit and its operating modes is also important. The goal of theoretical research is to justify the possibilities of overloads overcoming when the working member meets a stump due to the kinetic energy of rotating masses of the engine, transmission and cutter; determination of optimal energy and dynamic parameters of the unit; theoretical analysis of the stump crushing process by a milling working member that allows solving the problem of optimizing the design and geometric parameters of the working member, its operating modes by the minimum criterion of the energy intensity. The research program provides the study of the possibility of overload overcoming by selecting the optimum values of the rotational speed of the working member, engine power, inertia moment of the unit, speed of its movement according to the criterion of the permissible load factor of the tractor engine. Also we have studied the rational cutting conditions and the angles of cutters setting by the criterion of minimum energy intensity. The research is carried out theoretically on the basis of the computer programs Dina 2 and Freza_n created by the authors, which allow us to substantiate the parameters of the unit and its working body at the design stage. On the basis of the obtained results we can substantiate the design and structure of the tractor forestry unit for stump lowering with a working member in the

For citation: Orlovskiy S.N., Karnaukhov A.I. Calculation Methodology of Energy and Dynamic Parameters of the Stump Lowering Device and Cutting Conditions of Its Working Member. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 4, pp. 106–115. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.106

form of a front-mounted milling cutter and determine its power and dynamic parameters. This will increase the labor productivity and reduce operator's fatigue.

Keywords: stump lowering, dynamic parameter, cutting, throwing the cutting product off, optimization.

REFERENCES

1. Drapalyuk M.V., Batishchev S.N. Rezul'taty teoreticheskogo issledovaniya vibroudarnoy mashiny dlya udaleniya pney [Theoretical Study Results of Vibratory Impact Machine for Stump Removal]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2011, no. 3, pp. 51–57.

2. Karnaukhov A.I. *Lesopozharnye agregaty s tortsovoy frezoy. Kontsepsiya energosberezheniya: monogr. dlya studentov, prepodavateley i nauch. rabotnikov tekhn. vuzov* [Forest Fire Units with Face Milling Cutter. The Concept of Energy-Saving]. Krasnoyarsk, 2011. 220 p.

3. Orlovskiy S.N. *Opreделение энергетических и динамических параметров тракторов, режимов резания активных рабочих органов машинно-тракторных агрегатов: моногр.* [Determination of Energy and Dynamic Parameters of Tractors, Cutting Modes of Active Working Members of Machine and Tractor Units]. Krasnoyarsk, 2011. 376 p.

4. Orlovskiy S.N., Karnaukhov A.I. *Teoreticheskie predposylki k obosnovaniyu parametrov i rezhimov raboty rotornykh rabochikh organov* [Theoretical Background of Rotary Tools Parameters and Operating Modes]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2012, no. 4, pp. 70–76.

5. Orlovskiy S.N., Filimonov E.G. *Optimal'nye parametry lesopozharnykh agregatov* [Optimum Parameters of Forest Fire Units]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 1994, no. 1, pp. 32–37.

6. Orlovskiy S.N., Komissarov S.V. *Raschet dinamiki traktornykh agregatov (Dina 2)* [Calculation of Dynamics of Tractor Units (Dina 2)]. Certificate of Official Registration of Software Application no. 2007610362, 2007.

7. Orlovskiy S.N., Komissarov S.V., Karnaukhov A.I. *Raschet energoemkosti rezaniya lesnykh pochv s podstilkoy tortsovymi frezami i zatrat moshchnosti na rezanie i vypolnenie tekhnologicheskogo protsessa (Fresa_n)* [Calculation of Energy Intensity of Forest Soil Cutting with Litter by Face Mills and Power Expenditure to Cut and Perform the Technological Process (Fresa_n)]. Certificate of Official Registration of Software Application no. 2007610363, 2007.

8. Cormmier D., Ryans M. The Use of Piling Rakes for a Logging Debries Problem. *Canadian Forest Industries*, 1988, no. 11, pp. 27–32.

Received on January 23, 2017



МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 662.63

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.116

ТЕПЛОТА СГОРАНИЯ ДРЕВЕСНОГО ТОПЛИВА

Ю.В. Максимук¹, канд. хим. наук, доц.

Д.А. Пономарев², д-р хим. наук, проф.

В.Н. Курсевич¹, науч. сотр.

В.В. Фесько¹, мл. науч. сотр.

¹ НИИ физико-химических проблем Белорусского государственного университета, ул. Ленинградская, д. 14, Минск, Беларусь, 220030; e-mail: maksimuk@bsu.by

² Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия, 194021; e-mail: dpronomarev1@mail.ru

Древесная биомасса является природным ресурсом многоцелевого назначения. Наиболее востребованы в качестве твердого биотоплива древесные гранулы и брикеты, изготавливаемые из отходов переработки древесины и характеризующиеся высокой энергоемкостью. Теплота сгорания является нормированным показателем качества топлива и основным критерием оценки его энергоэффективности. В работе представлены результаты испытаний 57 различных образцов древесного топлива из хвойных и лиственных пород из всех шести областей Беларуси и Калининградской области России, в том числе 18 образцов гранул и 13 брикетов. Для образцов определены влажность, зольность (при температуре 800 °С) и теплота сгорания, измеренная в бомбовых изопериболических калориметрах. Экспериментальные значения высшей теплоты сгорания в пересчете на абсолютно сухое состояние составили, МДж/кг: 19,4...21,2 – для древесины с естественным содержанием коры; 18,9...23,6 – для коры (в том числе для коры березы – 23,6); 20,8±0,5 – для хвойных пород (в том числе для сосны – 20,9±0,3); 20,0±0,7 – для лиственных пород (в том числе для ольхи и осины – 19,9±1,0). Анализ литературных и экспериментальных данных позволяет рекомендовать к использованию значения высшей теплоты сгорания, МДж/кг: для древесного топлива неустановленного происхождения – 19,8 (с погрешностью ±10,0 % и вероятностью 95 %); для топлив из лиственных и хвойных пород – соответственно 19,6 и 20,5 (с погрешностью ±5,0 %). Наиболее оправдано использование рекомендованных значений для оценки энергоэффективности необлагороженных видов древесного топлива (дрова, щепа) с содержанием воды 30 % и более. Погрешность такой оценки для топлива в рабочем состоянии по сравнению с погрешностью рекомендованных значений на абсолютно сухое состояние пропорционально снижается с увели-

Для цитирования: Максимук Ю.В., Пономарев Д.А., Курсевич В.Н., Фесько В.В. Теплота сгорания древесного топлива // Лесн. журн. 2017. № 4. С. 116–129. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.116

чением содержания воды в топливе. Максимальная погрешность экспериментального определения теплоты сгорания древесного топлива составляет $\pm 1,5$ % при вероятности 95 %. Целесообразность применения расчетных процедур для оценки теплоты сгорания по составу (элементному, компонентному и т. д.) определяется расхождением между расчетными и экспериментальными значениями, величина которого для древесного топлива не должна превышать 2,5 % при вероятности 90 %.

Ключевые слова: высшая теплота сгорания, древесное топливо, оценка энергоэффективности, древесные гранулы и брикеты, необлагороженные виды топлива.

Введение

Возобновление в XXI в. широкого применения древесной биомассы в качестве топлива связано с ужесточением требований к охране окружающей среды, комплексным использованием региональных топливных ресурсов и развитием новых технологий их переработки. Повсеместное распространение получили новые технологичные виды древесного топлива (гранулы и брикеты из отходов переработки древесины), которые имеют высокую плотность ($800 \dots 1200 \text{ кг/м}^3$), низкую влажность (не более 10 %) и, как следствие, высокую низшую удельную теплоту сгорания (НТС) в рабочем состоянии (примерно $17,5 \text{ МДж/кг}$ (или МДж/м^3)). Теплота сгорания является основным показателем качества котельного топлива. Знание этого параметра также необходимо для расчета пожароопасных характеристик древесины [1] и моделирования пожаров [34].

Приоритетное использование в СССР высокоэнергетических топлив привело к резкому снижению научных исследований, посвященных изучению теплоты сгорания твердых биотоплив. Монографии, затрагивающие эту тему [2, 5, 10] базируются на значениях, приведенных в [6, 9]. Поэтому представляется актуальным проведение сравнительного анализа результатов новых исследований теплоты сгорания древесных топлив. Наличие в литературе несогласующихся значений при недостатке достоверных и научно обоснованных данных четко обозначено в работе [13].

Цель данной работы – экспериментальное определение и проверка литературных данных по высшей теплоте сгорания (ВТС) различных видов древесной биомассы и древесного топлива для разработки рекомендаций по использованию достоверных значений ВТС.

Объекты и методы исследования

В качестве исходных образцов использовали пробы, отобранные из промышленных партий древесного топлива. Для измерений готовили аналитические пробы с размерами частиц не более 1 мм. Перед измельчением влажные пробы (щепа, дрова) подсушивали до воздушно-сухого состояния. Для аналитических проб зольность (A) и ВТС измеряли параллельно с измерениями влажности (W).

Влажность определяли путем высушивания до постоянной массы навески 1,0...2,0 г при температуре 105 °С в открытых алюминиевых бюксах вместимостью 100 мл. Перед извлечением из сушильного шкафа горячие бюксы плотно закрывали крышками, помещали в эксикатор с хлористым кальцием и через 15 мин взвешивали. Перед взвешиванием бюксы открывали на несколько секунд.

Зольность определяли путем прокаливания в фарфоровых тиглях при температуре 800 °С в течение 60 мин предварительно обугленной навески массой около 1 г. Горячие тигли после извлечения из печи выдерживали на воздухе в течение 5 мин, затем помещали в эксикатор без осушителя и взвешивали через 15 мин.

При определении влажности использовали сушильные шкафы SNOOL 24/200 и Binder FD 53, зольности – муфельную печь МИМП-3П. Точность поддержания температур в рабочих камерах испытательного оборудования составляла ± 2 °С. Выполняли по три параллельных определения, при этом повторяемость (сходимость) результатов не превышала 0,2 %.

Высшую теплоту сгорания при постоянном объеме аналитических проб топлива (ВТС^а) определяли с использованием двух бомбовых изопериболических калориметров с водяной оболочкой: В-08 МА [4] и БИК 100 [8]. Калибровку калориметров осуществляли по стандартному образцу бензойной кислоты марки К-3 (ГСО 5504–90). Образцы массой 1,0...1,2 г сжигали в виде спрессованных на воздухе таблеток в жаропрочных тиглях из нержавеющей стали. В качестве запала использовали медную проволоку диаметром 0,5 мм. Расчет ВТС^а проводили в соответствии с ГОСТ 147–2013. Средняя сходимость результатов измерений – 45 кДж/кг, максимальная – 150 кДж/кг. Содержание серы в исследованных образцах не превышало 0,10 % (в среднем 0,04 %).

Значения, полученные для аналитических проб (*a*), были пересчитаны на другие состояния: абсолютно сухое (*d*) – ВТС^d и *A^d*, абсолютно сухое обеззоленное (*daf*) – ВТС^{daf}.

Результаты исследования и их обсуждение

В работах по определению теплот сгорания древесной биомассы данные ранжируют по породам деревьев, частям дерева и регионам (странам). Например, для Республики Коми (Россия) [18], Канады [37], Саудовской Аравии (акация) [31], Узбекистана [30], Индии [29], юго-востока Нигерии [23], Южной Африки [22], Южного Китая (сосна) [40], Японии [15] и т. д. Географический регион, скорость роста и возраст дерева не оказывают значительного влияния на теплоту сгорания [27]. Тем не менее, по данным [31], максимальное различие в значениях теплоты сгорания для одного вида по регионам составляет 0,70 МДж/кг (в среднем 0,30 МДж/кг), а для различных видов – 2,50 МДж/кг, причем самые высокие значения отмечены у видов с наибольшим содержанием лигнина и экстрактивных веществ.

Результаты наших экспериментальных исследований представлены в табл. 1.

Таблица 1

№ образца	Область	Древесное топливо	Сырье	Характеристики образцов древесного топлива				
				ВТС ^с , кДж/кг	И ^с , %	ВТС ^д , кДж/кг	А ^д , %	ВТС ^{д/д} , кДж/кг
1	Витебская	Щепа	Кора осины	17 483	7,5	18 890	5,8	20 070
2	«	«	« березы	22 010	6,6	23 568	1,6	23 959
3	«	«	« ольхи	19 920	8,6	21 782	3,4	22 532
4	Минская	Гранулы	« сосны	20 343	5,7	21 568	1,8	21 968
5	«	Щепа	« сосны	19 447	9,5	21 488	1,0	21 708
6	Калининградская	«	« лиственницы	18 835	9,3	20 775	2,3	21 267
7	Могилевская	Дрова	« тополя	17 889	7,5	19 342	7,5	20 916
8	«	«	Тополь без коры	18 520	6,4	19 791	1,3	20 052
9	«	«	Береза «	17 780	9,3	19 599	1,1	19 821
10	Минская	Гранулы	«	19 800	3,9	20 610	1,2	20 862
11	«	Опилки	Ольха «	18 470	8,2	20 124	1,0	20 317
12	Гомельская	Брикеты из пыли	«	18 717	4,7	19 640	0,3	19 699
13	«	«	«	18 780	3,9	19 550	0,4	19 636
14	«	«	«	18 730	5,1	19 737	0,4	19 814
15	Минская	Гранулы	Осина «	19 370	3,9	20 154	0,4	20 227
16	«	Дрова	« с гнилью	19 520	7,0	20 994	0,8	21 168
17	«	«	« без коры	18 524	6,2	19 749	0,6	19 871
18	«	Гранулы	Сосна без коры	19 790	6,6	21 198	0,3	21 255
19	«	Брикеты из пыли	«	19 900	5,3	21 007	0,2	21 051
20	«	«	«	20 192	4,1	21 055	0,3	21 115
21	«	«	«	19 865	6,2	21 183	0,3	21 244
22	«	«	«	18 900	7,3	20 395	0,9	20 582
23	«	Опилки	Дуб	18 165	9,0	19 966	0,2	20 008
24	Брестская	«	Древесина «	19 557	3,6	20 287	0,5	20 383
25	«	Пыль	«	17 388	12,6	19 904	1,2	20 148
26	«	Щепа	«	20 066	2,6	20 604	0,5	20 705
27	«	Опилки	«	16 964	18,0	20 695	0,5	20 800
28	«	Щепа	«	20 408	1,9	20 812	1,4	21 092

Окончание табл. 1

№ образца	Область	Древесное топливо	Сырье	ВТС ^с , кДж/кг	И ^с , %	ВТС ^д , кДж/кг	A ^д , %	ВТС ^{д/с} , кДж/кг
29	Гродненская	Дрова	Сосна	19 240	7,2	20 735	0,7	20 875
30	«	«	« с гнилью	19 307	6,9	20 747	1,1	20 980
31	«	«	Ель	18 811	6,7	20 158	0,8	20 324
32	Минская	«	«	17 335	11,6	19 608	0,8	19 760
33	«	«	Тополь	18 602	5,5	19 685	0,8	19 833
34	«	«	Сосна	19 153	7,0	20 595	0,4	20 684
35	«	Гранулы	«	19 442	5,5	20 582	0,4	20 661
36	Могилевская	«	«	19 135	5,4	20 221	0,5	20 327
37	«	Щепа	«	18 550	6,3	19 793	2,0	20 196
38	«	Пыль	«	19 359	3,2	20 007	0,7	20 148
39	Брестская	Щепа	«	19 210	5,3	20 289	0,9	20 474
40	Гомельская	Гранулы	«	19 520	4,9	20 534	1,2	20 775
41	«	«	«	18 712	4,4	19 567	4,8	20 555
42	«	«	«	19 869	3,3	20 543	1,4	20 890
43	«	«	«	18 351	7,0	19 722	2,4	20 211
44	Минская	«	«	19 009	7,6	20 561	0,5	20 673
45	«	«	«	18 172	8,9	19 953	3,5	20 684
46	«	«	«	18 979	7,7	20 565	1,3	20 827
47	«	Гранулы	«	19 435	6,2	20 709	0,4	20 786
48	«	Брикеты	«	19 113	8,6	20 918	1,1	21 163
49	Брестская	Гранулы	«	18 038	7,1	19 418	0,2	19 465
50	Витебская	Брикеты	«	19 230	6,2	20 495	0,6	20 647
51	«	Гранулы	«	18 628	7,0	20 037	1,9	20 435
52	Гомельская	«	«	18 908	6,0	20 124	0,7	20 274
53	Брестская	Брикеты	«	18 883	7,3	20 379	1,5	20 679
54	Могилевская	«	«	18 585	4,2	19 406	0,9	19 590
55	Брестская	Гранулы	«	18 184	8,8	19 940	1,4	20 220
56	Калининградская	Щепа	«	18 216	7,3	19 659	1,0	19 866
57	Гомельская	Гранулы	«	18 738	5,8	19 898	0,6	20 009
	«	Брикеты	Ольха					

Анализ данных табл. 1 показывает, что значения $ВТС^d$ для всех изученных образцов древесины находятся в достаточно узком интервале шириной 1,80 МДж/кг. Это значение совпадает с литературными данными (табл. 2), приведенными в справочниках [6], – 1,50 МДж/кг, [3] – 1,80 МДж/кг, [14] – 2,00 МДж/кг. Для окоренной или стволовой древесины данный интервал меньше: для 12 образцов древесины из Новой Зеландии [35] он составил 0,90 МДж/кг. Для совокупности образцов, включающих не только древесину, но и кору, указанный интервал увеличивается примерно в 2 раза, МДж/кг: 2,70 [37]; 3,20 [19, 35]; 3,50 [33]; 3,70 [29]; 4,00 [14]; 4,20 – для 108 образцов [22]; 4,70 – в данной работе. Это связано с тем, что кора неоднородна по своему составу и состоит из внутреннего (луб) и наружного (корка) слоев, которые отличаются по строению, химическому составу и функциям, поэтому свойства коры колеблются в широких пределах. Например, верхний белый слой коры березы (береста) имеет аномально высокое значение ВТС, которое и обуславливает самое большое значение и самый широкий интервал $ВТС^d$ в данной работе. Без учета коры березы интервал $ВТС^d$ составляет 2,90 МДж/кг. Если учитывать биомассу не только деревьев, но и кустарников, то интервал изменения $ВТС^d$ становится еще шире. Например, для 26 образцов, произраставших в северо-западных Гималаях, он достигает 5,10 [17] (от 17,90 до 22,90 МДж/кг). Если учитывать, что кора имеет значительно большую зольность (4,0...5,0 %), чем окоренная древесина (0,3 %), то для $ВТС^{daf}$ диапазон варьирования может уменьшиться на 1,00 МДж/кг по сравнению с диапазоном $ВТС^d$.

В среднем для древесного топлива можно ориентироваться на интервал $ВТС^d$ в 3,00 МДж/кг, предложенный [27], когда 90 % значений (~700 исследованных образцов) находятся в диапазоне 18,00...21,00 МДж/кг и древесина содержит около 10 % коры. Более полные данные о диапазонах [27] приведены в табл. 2. Среднее значение для всех образцов составляет 20,80 МДж/кг.

Таблица 2

Интервалы изменений $ВТС^d$ (МДж/кг) древесной биомассы

Хвойные породы	Лиственные породы	Кора	Древесина	Источник	
18,60...28,40	15,60...23,70	18,00...22,70	19,00...21,00	[26] [14]	
19,12...21,10	18,40...20,10		19,60...21,40	[37] [3]	
19,66...20,36	17,63...20,81		17,40...20,60 19,60...20,50		[38]
18,39...20,51	17,38...23,05				Phyllis Database из [38]
19,68...21,14	19,68...20,81				[6]
				18,34...22,49	[35] [22]
				19,70...23,40	[29]
				17,30...20,80	[33]
20,98...23,00				[40]	
20,93...22,57	19,31...20,24			[19]	
19,61...21,57	18,89...23,57	18,89...23,57 19,40...21,20		Данная работа	

Значения теплоты сгорания других частей дерева (ветки, корни, верхушки, листья и др.), как правило, входят в уже рассмотренные диапазоны, занимая промежуточные значения между древесиной и корой [37], за исключением листьев (хвои), которые чаще всего имеют более высокие значения ВТС^d. Например, по данным [35], ВТС^d листьев варьирует в интервале 19,50...24,10 МДж/кг, с учетом остальных частей дерева ширина интервала увеличивается до 6,70 МДж/кг. ВТС^d хвои сосны часто выше, чем древесины и коры, и составляет, МДж/кг: 21,00 – по данным [26], 21,40 – [37], 23,00 – [40]; для сосны ладанной – 20,70 [28], для сосны закрытой (*Pinus clausa*) – 22,36 [28], но по данным [11] – 18,17...19,64. Авторы [32, 35] для листьев получили значение ВТС^d = 21,80 МДж/кг; в [35] эта величина объясняется большим (33 %) содержанием экстрактивных веществ. В работе [11] предлагается использовать тепловой потенциал не только хвои, но и шишек, теплота сгорания которых для сосны Веймутова (*Pinus strobus*) составляет 21,25 МДж/кг.

Данные по ВТС^d древесины разделены по лиственным и хвойным породам (табл. 2). В среднем хвойные породы обладают более высокой теплотой сгорания по сравнению с лиственными, что связано с большим содержанием лигнина и экстрактивных (в первую очередь смолистых) веществ, имеющих теплотворную способность 34,90...37,20 МДж/кг [26]. Качественный состав этих веществ [7] приблизительно постоянный [14]. В то же время варьирование содержания экстрактивных веществ и их многообразие значительно затрудняют возможность прогнозирования теплоты сгорания древесной биомассы по химическому составу. Так, коэффициент корреляции зависимости ВТС^d от содержания лигнина для древесины составляет 0,76, после удаления из нее экстрактивных веществ он повышается до 0,97 [39]. По данным [31], коэффициент корреляции по лигнину равен 0,70, по экстрактивным веществам – только 0,56. Более высокое значение коэффициента корреляции по лигнину (0,86) приведено в работе [12], причем наибольшие отклонения отмечены для образцов древесины, содержащих наибольшее количество экстрактивных веществ. По данным [20], теплота сгорания коры хвойных деревьев на 7 % больше, чем лиственных, а по обобщенным в [16] данным – на 10 %, что свидетельствует об отсутствии коры березы в изученных образцах.

По нашим экспериментальным данным, ВТС^d для древесного топлива из сосны имеет значение 20,90±0,30, для ольхи и осины – (19,90±1,00) МДж/кг, что близко к справочным значениям, МДж/кг [3]: сосна – 20,59, ольха – 20,05, осина – 19,64. В табл. 3 представлены данные по ВТС^d биомассы сосны со ссылками на оригинальные источники или на работу [20]. По стволу древесине данные разных исследователей практически совпадают, МДж/кг: 20,90±0,30 (данная работа); 21,30 [37]; 21,30±0,10 [40]; 21,55±0,25 [18]. Для коры наблюдаются отличия, МДж/кг: 18,49±0,26 [18]; 19,13...19,77 – для сосен пяти видов [12]; 19,44 [37]; 21,3±0,3 (данная работа); 21,40±0,14 [40].

Таблица 3

Значения ВТС^d (МДж/кг) биомассы сосны

Сосна	ВТС ^d	Регион, страна	Источник	Примечание
Массон (<i>Pinus massoniana</i>)	21,54±0,19	Южный Китай	[40]	Все части дерева
Приморская (<i>Pinus pinaster</i>)	20,10	Португалия	[38]	
Ладанная (<i>Pinus taeda</i>)	20,00±1,20		[26]	Ствол
Эллиота (<i>Pinus Elliotii</i>)	22,37	Северная Америка	[20]	
Банкса (<i>Pinus banksiana</i>)	20,79±0,86 21,82 20,77	Канада Северная Америка	[37] [20] [20]	Все части дерева Кора «
Обыкновенная (<i>Pinus silvestris</i>)	20,00 19,74 19,96±1,40	Украина Коми, Россия	[20] [11] [18]	« « Все части дерева
Виргинская (<i>Pinus virginiana</i>)	19,59		[20]	Кора

В табл. 3 не включены значения ВТС^d из работы [12] для стволовой древесины сосны Банкса и сосны обыкновенной (соответственно 18,42...18,52 и 18,49...19,22 МДж/кг). Данные значения представляются заниженными, что вероятно связано с остаточным содержанием влаги в образцах, использовавшихся при определении ВТС «в абсолютно сухом состоянии». В среднем для сосны, независимо от вида, региона произрастания и части дерева, значение ВТС^d = (20,6±0,9) МДж/кг.

В табл. 4 суммированы значения ВТС^d по всем видам древесной биомассы, приведенные в разных исследованиях. В целом значения одинаковы в пределах погрешности их определения. Различия между хвойными и лиственными породами составляют, МДж/кг: 1,09 [16]; 1,03 [37]; 0,82 (данная работа);

Таблица 4

Средние значения ВТС^d (МДж/кг) древесной биомассы

Хвойные породы	Лиственные породы	Все породы	Количество образцов	Источник
20,30	19,90	20,10		[9, 10]
20,82 ±1,48	19,73 ±0,98	20,28±1,78 19,26±0,91 19,58 20,04	338 17 18 42	[16] [38] [24] [25]
20,81±0,67			19	[15]
20,18 ±0,55	19,15 ± 0,72	19,66 ± 0,91	20	[37]
20,82±0,53	20,00± 0,70	20,34±0,75	57	Данная работа

0,42 [10]. Для образцов лиственных и хвойных пород рекомендуемые нами значения $ВТС^d$ соответственно 19,6 и 20,5 МДж/кг (погрешность $\pm 5\%$), предлагаемые в [13] – 19,70 и 19,60 МДж/кг. Значение $ВТС^d$ для хвойной древесины из [13] представляется заниженным. Для древесного топлива неустановленного происхождения рекомендуются: $ВТС^d = 19,80$ и $ВТС^{daf} = 20,10$ МДж/кг (погрешность $\pm 10\%$, вероятность – 95 %). Сравнение этих значений с видом уравнений по расчету $ВТС^d$ на основе данных по зольности A^d ($ВТС^d = 19,914 - 0,2324A^d$ [36] и $ВТС^d = 20,060 - 0,352A^d$ [21]) косвенно свидетельствует о надежности рекомендованных величин.

Наиболее оправдано использование рекомендованных значений $ВТС^d$ для оценки энергоэффективности необлагороженных видов древесного топлива (дрова, щепа с содержанием воды 30 % и выше). Погрешность такой оценки для топлива в рабочем состоянии по сравнению с погрешностью рекомендованных значений на абсолютно сухое состояние будет пропорционально снижаться с увеличением содержания воды в топливе. Практика работы топливных лабораторий показывает, что значения $ВТС^d$ и особенно $ВТС^{daf}$ (в которой исключаются расхождения, связанные с внешними загрязнениями) для однотипной древесной биомассы из одного и того же региона будут постоянными в интервале 0,50 МДж/кг ($\sim 2,5\%$). Максимальная погрешность экспериментального определения $ВТС^d$ древесного топлива составляет $\pm 1,5\%$ при вероятности 95 %. Эта величина оценена исходя из нормируемого в стандартах допустимого расхождения в 0,30 МДж/кг между результатами определений теплоты сгорания одного и того же образца твердого биотоплива, полученными в разных лабораториях. Целесообразность применения расчетных процедур для оценки $ВТС^d$ по составу (элементному, компонентному и т. д.) определяется расхождением между расчетными и экспериментальными значениями, величина которого для древесного топлива, на наш взгляд, не должна превышать 2,5 % при вероятности 90 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Асеева Р.М., Серков Б.Б., Сивенков А.Б. Горение древесины и ее пожароопасные свойства: моногр. М.: Акад. ГПС МЧС России, 2010. 262 с.
2. Белосельский Б.С., Барышев В.И. Низкосортные энергетические топлива: особенности подготовки и сжигания. М.: Энергоатомиздат, 1989. 136 с.
3. Боровиков А.М., Уголев Б.Н. Справочник по древесине. М.: Лесн. пром-сть, 1989. 296 с.
4. Воробьев Л.И., Грищенко Т.Г., Декуша Л.В. Бомбовые калориметры для определения теплоты сгорания топлива // Инж.-физ. журн. 1997. Т. 70, № 5. С. 828–839.
5. Головкин С.И., Коперин И.Ф., Найденов В.И. Энергетическое использование древесных отходов. М.: Лесн. пром-сть, 1987. 224 с.
6. Добрынин Ф.Д., Карелин А.И., Кострикин Ю.М. и др. Котельные установки Т. 1. Рабочие тела и процессы котельной установки. Топочные устройства / под ред. М.В. Кирпичева, Э.И. Ромма, Т.Т. Усенко. М.; Л.: Госэнергоиздат, 1941. 280 с.

7. Кузьмина Р.И., Штыков С.Н., Иванова Ю.В., Панкин К.Е. Оценка теплоты сгорания биотоплива на основе экстрактивных веществ из древесных отходов // Химия и технология топлив и масел. 2009. № 6. С. 40–42.
8. Максимук Ю.В., Фесько В.В., Васаренко И.В., Дубовик В.Г. Метрологическое обеспечение измерений теплоты сгорания твердых и жидких топлив // Приборы и методы измерений. 2014. № 2(9). С. 67–74.
9. Нормы теплового расчета котельного агрегата. М.; Л.: Госэнергоиздат, 1952. 176 с.
10. Равич М.Б. Эффективность использования топлива. М.: Наука, 1977. 344 с.
11. Рябчук В.П., Юскевич Т.В., Гриб В.М. Физические свойства древесины видов рода сосна // Лесн. журн. 2013. № 5. С. 160–169. (Изв. высш. учеб. заведений).
12. Серков Б.Б., Сивенков А.Б., Тхань Б.Д., Асеева Р.М. Тепловыделение при горении древесины // Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 2003. № 5(30). С. 74–79.
13. Степанов В.С., Степанова Т.Б., Старикова Н.В. Оценка теплотехнических характеристик древесного топлива // Системы. Методы. Технологии. 2015. № 1(25). С. 117–123.
14. Фенгел Д., Вегенер Г. Древесина (химия, ультраструктура, реакции). М.: Лесн. пром-сть, 1988. 512 с.
15. Abe F. Calorific Value of Japanese Coniferous Wood // Forest Products Chemistry. 1986. Vol. 36. Pp. 91–100.
16. Baldwin S.F. Biomass Stoves: Engineering Design, Development, and Dissemination. Arlington, USA, 1987. 382 p.
17. Bhatt B.P., Tomar J.M.S. Firewood Properties of Some Indian Mountain Tree and Shrub Species // Biomass and Bioenergy. 2002. Vol. 23, no. 4. Pp. 257–260.
18. Bobkova K.S., Tuzhilkina V.V. Carbon Concentrations and Caloric Value of Organic Matter in Northern Forest Ecosystems // Russian Journal of Ecology. 2001. Vol. 32, no. 1. Pp. 63–65.
19. Brown H.P., Panshin A.J., Forsaith C.C. Textbook of Wood Technology. Vol. 2. New York, USA, 1952. 783 p.
20. Corder S.E. Properties and Uses of Bark as an Energy Source. Corvallis, Oregon, USA, 1976. 21 p.
21. Ebeling J.M., Jenkins B.M. Physical and Chemical Properties of Biomass Fuels // Trans. ASAE. 1985. Vol. 28(3). Pp. 898–902.
22. Eberhard A.A. Firewood Calorific Value in South Africa // South African Forestry Journal. 1990. Vol. 152. Pp. 17–20.
23. Erakhrumen A.A. Estimating the Extent of Influence of Two Intrinsic Fuelwood Properties on Acceptance / Retention of Some Wood Species in Agroforestry Practices in Southwest Nigeria // Drvna Industrija. 2009. Vol. 60(4). Pp. 209–218.
24. Friedl A., Padouvas E., Rotter H., Varmuza K. Prediction of Heating Values of Biomass Fuel from Elemental Composition // Analytica Chimica Acta. 2005. No. 544. Pp. 191–198.
25. Gaur S., Reed T.B. Thermal Data for Natural and Synthetic Fuels. New York, USA, 1998. 280 p.
26. Harker A.P., Sandels A., Burley J. Calorific Values for Wood and Bark and a Bibliography for Fuelwood. Report No. G162. Tropical Products Institute. London, UK, 1982. 20 p.
27. Hough W.A. Caloric Value of Some Forest Fuels of the Southern United States // USDA Forest Service. Southeastern Forest Experiment Station. Research Note SE-120. Asheville, NC, USA, 1969. 6 p.
28. Howard E.T. Heat of Combustion of Various Southern Pine Materials // Wood Science. 1973. Vol. 5, no. 3. Pp. 194–197.

29. Kumar N.J.I., Kumar R.N., Patel K., Kumar Bhoi R. An Assessment of Indian Fuel Wood with Regards to Properties and Environmental Impact // *Asian J. Energy and Environment*. 2009. Vol. 10(2). Pp. 99–107.
30. Lamers J.P.A., Khamzina A. Fuelwood Production in the Degraded Agricultural Areas of the Aral Sea Basin, Uzbekistan // *Bois et Forêts des Tropiques*. 2008. No. 297(3). Pp. 47–57.
31. Nasser R.A., Aref I.M. Fuelwood Characteristics of Six Acacia Species Growing Wild in the Southwest of Saudi Arabia as Affected by Geographical Location. *BioResources*, 2014. no. 9(1). Pp. 1212–1214.
32. Nunez-Requeira L., Rodrguez-Anon J.A., Proupn-Castineiras J., Vilanova-Diz A., Montero-Santovenia N. Determination of Calorific Values of Forest Waste Biomass by Static Bomb Calorimetry // *Thermochimica Acta*. 2001. Vol. 371(1). Pp. 23–31.
33. Puri S., Singh S., Bhushan B. Evaluation of Fuelwood Quality of Indigenous and Exotic Tree Species of India's Semiarid Region // *Agroforestry Systems*. 1994. Vol. 26(2). Pp. 123–130.
34. Reid A.M., Robertson K.M. Energy Content of Common Fuels in Upland Pine Savannas of the South-Eastern US and Their Application to Fire Behaviour Modelling // *International Journal of Wildland Fire*. 2012. Vol. 21(5). Pp. 591–595.
35. Senelwa K., Sims R.E.H. Fuel Characteristics of Short Rotation Forest Biomass // *Biomass and Bioenergy*. 1999. Vol. 17(2). Pp. 127–140.
36. Sheng Ch., Azevedo J.L.T. Estimating the Higher Heating Value of Biomass Fuels from Basic Analysis Data // *Biomass and Bioenergy*. 2005. Vol. 28(5). Pp. 499–507.
37. Singh T., Kosticky M.M. Calorific Value Variations in Components of 10 Canadian Tree Species // *Can. J. For. Res.* 1986. Vol. 16(6). Pp. 1378–1381.
38. Telmo C., Lousada J. Heating Values of Wood Pellets from Different Species // *Biomass and Bioenergy*. 2011. Vol. 35(7). Pp. 2634–2639.
39. White R.H. Effect of Lignin Content and Extractives on the Higher Heating Value of Wood // *Wood and Fiber Science*. 1987. Vol. 19(4). Pp. 446–452.
40. Zeng W., Tang S., Xiao Q. Calorific Values and Ash Contents of Different Parts of Masson Pine Trees in Southern China // *Journal of Forestry Research*. 2014. Vol. 25(4). Pp. 779–786.

Поступила 09.09.16

UDC 662.63

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.116

Calorific Value of Wood Fuel

Yu.V. Maksimuk¹, *Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor*

D.A. Ponomarev², *Doctor of Chemical Sciences, Professor*

V.N. Kursevich¹, *Research Officer*

V.V. Fes'ko¹, *Research Assistant*

¹Research Institute for Physical Chemical Problems of the Belarusian State University, ul. Leningradskaya, 14, Minsk, 220030, Belarus; e-mail: maksimuk@bsu.by

²Saint Petersburg State Forest Technical University under name of S.M. Kirov, Institutskiy per., 5, Saint Petersburg, 194021, Russian Federation, e-mail: dponomarev1@mail.ru

For citation: Maksimuk Yu.V., Ponomarev D.A., Kursevich V.N., Fes'ko V.V. Calorific Value of Wood Fuel. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 4, pp. 116–129. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.116

Wood biomass is a natural resource of the multi-purpose use. Wood pellets and briquettes produced from waste products of wood processing are characterized by high energy intensity and are most demanded as solid biofuel. The calorific value is a control parameter of fuel quality and a basic criterion for assessing its energy efficiency. The paper presents the test results for 57 various samples (including 18 samples of pellets and 13 samples of briquettes) of wood fuel from coniferous and deciduous species from 6 areas of Belarus and the Kaliningrad region of Russia. For all samples the moisture content, ash content (at a temperature of 800 °C) and calorific value measured in bomb isoperibolic calorimeters are determined. The experimental values of the highest calorific value in terms of BDH are (mJ/kg): 19.40...21.20 – for wood with natural bark content; 18.9...23.6 – for bark; 20.8±0,5 – for coniferous species (including pine – 20.90±0.30); 20.0±0.7 – for hardwood (including alder and aspen – 19.90±1.00; for birch bark – 23.6). The analysis of literature and experimental data allows us to recommend the gross CV values for wood fuel of unknown origin – 19.8 (with an accuracy of ±10 % and probability of 95 %); for fuels from deciduous and coniferous species – 19.6 and 20.5, respectively (with an accuracy of ±5 %). The use of the recommended values for the energy efficiency assessment of non-purified types of wood fuel (firewood, chips) with a water content of 30 % and more is most justified. The error of such estimate for fuel in operating condition compared with the error of the BDH recommended values is proportionally reduced with the increasing of water content in fuel. The maximum error of the experimental determination of calorific value for wood fuel is ±1,5 % at probability of 95 %. The expediency of calculation procedures for calorific value estimating by composition (ultimate, blend, etc.) is defined by the discrepancy between the calculated and experimental values, which, in our opinion, for wood fuel should not exceed 2.5 %, with a probability of 90 %.

Keywords: higher calorific value, wood fuel, energy efficiency assessment, wood pellet and briquette, non-purified fuel type.

REFERENCES

1. Aseeva R.M., Serkov B.B., Sivenkov A.B. *Gorenie drevesiny i ee pozharoopasnye svoystva: monogr.* [Combustion of Wood and Its Fire-Hazardous Properties]. Moscow, 2010. 262 p.
2. Belosel'skiy B.S., Baryshev V.I. *Nizkosortnye energeticheskie topliva: osobennosti podgotovki i szhiganiya* [Low-Grade Energy Fuels: Features of Preparation and Combustion]. Moscow, 1989. 136 p.
3. Borovikov A.M., Ugolev B.N. *Spravochnik po drevesine* [Handbook of Wood]. Moscow, 1989. 296 p.
4. Vorob'ev L.I., Grishchenko T.G., Dekusha L.V. Bombovye kalorimetry dlya opredeleniya teploty sgoraniya topliva [Review Bomb Calorimeters for Determination of the Specific Combustion Heat of Fuels]. *Inzhenerno-fizicheskiy zhurnal* [Journal of Engineering Physics and Thermophysics], 1997, vol. 70, no. 5, pp. 828–839.
5. Golovkov S.I., Koperin I.F., Naydenov V.I. *Energeticheskoe ispol'zovanie drevesnykh otkhodov* [Energy Use of Wood Waste]. Moscow, 1987. 224 p.
6. Dobrynin F.D., Karelin A.I., Kostrikin Yu.M. et al. *Kotel'nye ustanovki. T. 1. Rabochie tela i protsessy kotel'noy ustanovki. Topochnye ustroystva* [Boiler Installations. Vol. 1. Working Bodies and Boiler Plant Processes. Burning Installations]. Ed. by M.V. Kirpichev, E.I. Romm, T.T. Usenko. Moscow; Leningrad, 1941. 280 p.

7. Kuz'mina R.I., Shtykov S.N., Ivanova Yu.V., Pankin K.E. Otsenka teploty sgoraniya biotopliva na osnove ekstraktivnykh veshchestv iz drevesnykh otkhodov [Estimating the Bio-fuel Combustion Heat on the Basis of Extracted Substances from Wooden Wastes]. *Khimiya i tekhnologiya topliv i masel* [Chemistry and Technology of Fuels and Oils], 2009, vol. 45, no. 6, pp. 40–42.
8. Maksimuk Yu.V., Fes'ko V.V., Vasarenko I.V., Dubovik V.G. Metrologicheskoe obespechenie izmereniy teploty sgoraniya tverdykh i zhidkikh topliv [Metrological Provision for Measurements of Calorific Value of Solid and Liquid Fuels]. *Pribory i metody izmereniy* [Devices and Methods of Measurements], 2014, no. 2(9), pp. 67–74.
9. *Normy teplovogo rascheta kotel'nogo agregata* [Norms of Thermal Calculation of the Boiler Unit]. Moscow; Leningrad, 1952. 176 p.
10. Ravich M.B. *Effektivnost' ispol'zovaniya topliva* [Fuel Efficiency]. Moscow, 1977. 344 p.
11. Ryabchuk V.P., Yuskevich T.V., Grib V.M. Fizicheskie svoystva drevesiny vidov roda sosna [Physical Properties of Pine Wood]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2013, no. 5, pp. 160–169.
12. Serkov B.B., Sivenkov A.B., Tkhan' B.D., Aseeva R.M. Teplovydelenie pri gorenii drevesiny [Heat Emission at Wood Combustion]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik* [Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoy Vestnik], 2003, no. 5(30), pp. 74–79.
13. Stepanov V.S., Stepanova T.B., Starikova N.V. Otsenka teplotekhnicheskikh kharakteristik drevesnogo topliva [Evaluating Burning Characteristics of Wood Fuels]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii* [Systems. Methods. Technologies], 2015, no. 1(25), pp. 117–123.
14. Fengel D., Wagener G. *Wood – Chemistry, Ultrastructure, Reactions*. Berlin; New York, 1984. 613 p.
15. Abe F. Calorific Value of Japanese Coniferous Wood. *Forest Products Chemistry*, 1986, vol. 36, pp. 91–100.
16. Baldwin S.F. *Biomass Stoves: Engineering Design, Development, and Dissemination*. Arlington, USA, 1987. 382 p.
17. Bhatt B.P., Tomar J.M.S. Firewood Properties of Some Indian Mountain Tree and Shrub Species. *Biomass and Bioenergy*, 2002, vol. 23, no. 4, pp. 257–260.
18. Bobkova K.S., Tuzhilkina V.V. Carbon Concentrations and Caloric Value of Organic Matter in Northern Forest Ecosystems. *Russian Journal of Ecology*, 2001, vol. 32, no. 1, pp. 63–65.
19. Brown H.P., Panshin A.J., Forsaith C.C. *Textbook of Wood Technology. Vol. 2*. New York, USA, 1952. 783 p.
20. Corder S.E. *Properties and Uses of Bark as an Energy Source*. Corvallis, Oregon, USA, 1976. 21 p.
21. Ebeling J.M., Jenkins B.M. Physical and Chemical Properties of Biomass Fuels. *Trans. ASAE*, 1985, vol. 28(3), pp. 898–902.
22. Eberhard A.A. Firewood Calorific Value in South Africa. *South African Forestry Journal*, 1990, vol. 152, pp. 17–20.
23. Erakhrumen A.A. Estimating the Extent of Influence of Two Intrinsic Fuelwood Properties on Acceptance / Retention of Some Wood Species in Agroforestry Practices in Southwest Nigeria. *Drvna Industrija*, 2009, vol. 60(4), pp. 209–218.
24. Friedl A., Padouvas E., Rotter H., Varmuza K. Prediction of Heating Values of Biomass Fuel from Elemental Composition. *Analytica Chimica Acta*, 2005, no. 544, pp. 191–198.
25. Gaur S., Reed T.B. *Thermal Data for Natural and Synthetic Fuels*. New York, USA, 1998. 280 p.

26. Harker A.P., Sandels A., Burley J. Calorific Values for Wood and Bark and a Bibliography for Fuelwood. *Report No. G162. Tropical Products Institute*. London. UK, 1982. 20 p.
27. Hough W.A. Caloric Value of Some Forest Fuels of the Southern United States. *USDA Forest Service. Southeastern Forest Experiment Station. Research Note SE-120*. Asheville, NC, USA, 1969. 6 p.
28. Howard E.T. Heat of Combustion of Various Southern Pine Materials. *Wood Science*, 1973, vol. 5, no. 3, pp. 194–197.
29. Kumar N.J.I., Kumar R.N., Patel K., Kumar Bhoi R. An Assessment of Indian Fuel Wood with Regards to Properties and Environmental Impact. *Asian J. Energy and Environment*, 2009, vol. 10(2), pp. 99–107.
30. Lamers J.P.A., Khamzina A. Fuelwood Production in the Degraded Agricultural Areas of the Aral Sea Basin, Uzbekistan. *Bois et Forêts des Tropiques*, 2008, no. 297(3), pp. 47–57.
31. Nasser R.A., Aref I.M. Fuelwood Characteristics of Six Acacia Species Growing Wild in the Southwest of Saudi Arabia as Affected by Geographical Location. *BioResources*, 2014, no. 9(1), pp. 1212–1214.
32. Nunez-Requeira L., Rodriguez-Anon J.A., Proupn-Castineiras J., Vilanova-Diz A., Montero-Santovenia N. Determination of Calorific Values of Forest Waste Biomass by Static Bomb Calorimetry. *Thermochimica Acta*, 2001, vol. 371(1), pp. 23–31.
33. Puri S., Singh S., Bhushan B. Evaluation of Fuelwood Quality of Indigenous and Exotic Tree Species of India's Semiarid Region. *Agroforestry Systems*, 1994, vol. 26(2), pp. 123–130.
34. Reid A.M., Robertson K.M. Energy Content of Common Fuels in Upland Pine Savannas of the South-Eastern US and Their Application to Fire Behaviour Modelling. *International Journal of Wildland Fire*, 2012, vol. 21(5), pp. 591–595.
35. Senelwa K., Sims R.E.H. Fuel Characteristics of Short Rotation Forest Biomass. *Biomass and Bioenergy*, 1999, vol. 17(2), pp. 127–140.
36. Sheng Ch., Azevedo J.L.T. Estimating the Higher Heating Value of Biomass Fuels from Basic Analysis Data. *Biomass and Bioenergy*, 2005, vol. 28(5), pp. 499–507.
37. Singh T., Kostecy M.M. Calorific Value Variations in Components of 10 Canadian Tree Species. *Can. J. For. Res.*, 1986, vol. 16(6), pp. 1378–1381.
38. Telmo C., Lousada J. Heating Values of Wood Pellets from Different Species. *Biomass and Bioenergy*, 2011, vol. 35(7), pp. 2634–2639.
39. White R.H. Effect of Lignin Content and Extractives on the Higher Heating Value of Wood. *Wood and Fiber Science*, 1987, vol. 19(4), pp. 446–452.
40. Zeng W., Tang S., Xiao Q. Calorific Values and Ash Contents of Different Parts of Masson Pine Trees in Southern China. *Journal of Forestry Research*, 2014, vol. 25(4), pp. 779–786.

Received on September 09, 2016

УДК 621.311

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.130

НОРМИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ УСТРОЙСТВ В ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

С.П. Агеев, д-р техн. наук, проф.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,
2-я Красноармейская ул., д. 4, Санкт-Петербург, Россия, 190005;
e-mail: doctor.mart11@mail.ru

Нормирование удельных расходов энергии на деревообрабатывающих предприятиях строится в соответствии с расчленением производства, с одной стороны, на отдельные операции и процессы по видам производимой продукции, с другой – на отдельные участки (агрегаты, цехи, предприятие в целом). В соответствии с этим различают операционные удельные нормы по отдельным операциям и суммарные удельные нормы по отдельным производственным процессам. Цель настоящей статьи – разработка подхода к установлению операционной нормы удельного расхода электроэнергии на выполнение транспортных операций деревообрабатывающего производства, используемых для выгрузки леса из воды, транспортировки лесоматериалов со складов в цех и обслуживания технологических операций между отдельными агрегатами. Исследования энергетических свойств электропривода конвейеров проведены в направлении, при котором потери и полезное потребление энергии определяются через некоторые коэффициенты потерь и производительность агрегатов. Получены аналитические зависимости между потребляемой мощностью, удельным потреблением электроэнергии и производительностью конвейера, названные энергетическими характеристиками. Используемый метод позволяет выразить полезную нагрузку на агрегат через производительность – показатель, по которому практически оцениваются результаты работы агрегата, участка, цеха и т. д. Наличие энергетических характеристик дает возможность более качественно подойти к вопросу планирования удельных расходов энергии по каждому типоразмеру сортиментов и производству в целом. В результате исследований установлено, что энергетическая характеристика мощности, потребляемой транспортными устройствами, носит линейный характер, удельного расхода электроэнергии – нелинейный. Выявлены основные технологические факторы и параметры оборудования и сырья, влияющие на удельное электропотребление конвейеров.

Ключевые слова: конвейер, производительность, энергетическая характеристика, потребляемая мощность, удельный расход электроэнергии, потери электроэнергии, транспортные операции, деревообрабатывающее производство.

Для цитирования: Агеев С.П. Нормирование электропотребления транспортных устройств в деревообрабатывающей промышленности // Лесн. журн. 2017. № 4. С. 130–148. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.130

Введение

Продольные конвейеры на деревообрабатывающем производстве применяют для выгрузки леса из воды, транспортировки лесоматериалов со складов в цех и обслуживания технологических операций между отдельными агрегатами [8]. Энергоемкость конвейерного транспорта составляет 10...15 % общего расхода электроэнергии.

Исследования энергетических свойств механизмов с электроприводом можно проводить по двум принципиально различным направлениям.

При первом направлении потери энергии определяются через коэффициент полезного действия, который изменяется в функции нагрузки на валу приводного двигателя. Способы измерения этой нагрузки могут быть различными, но при этом всегда требуется соответствующее аппаратное сопровождение, так как непосредственно в производственных условиях нагрузка на валу обычно не измеряется.

При втором направлении, предложенном В.И. Вейцем, потери и полезное потребление энергии определяются через некоторые коэффициенты потерь и производительность агрегата. В результате получают аналитические зависимости между потребляемой мощностью (удельным потреблением электроэнергии) и производительностью исследуемого механизма, названные энергетическими характеристиками [1–3]. В настоящей статье используется второй метод, так как он позволяет выразить полезную нагрузку на агрегат через производительность – показатель, по которому практически оцениваются результаты работы агрегата, участка, цеха и т. д.

Решению перечисленных выше задач с использованием различных подходов посвящен ряд работ [10–13].

Методы и результаты исследования

Продольные конвейеры работают при постоянной скорости, их энергетический режим (при постоянной длине конвейера и угле наклона) полностью определяется производительностью, которая в свою очередь зависит от веса транспортируемого материала. В связи с этим удельный расход электроэнергии необходимо выразить в виде зависимости от производительности конвейера:

$$d = \varphi(V_K),$$

где d – удельный расход электроэнергии, кВт·ч/м³;

V_K – объемная производительность конвейера, м³/ч.

Цель настоящей статьи – построение и анализ энергетических характеристик транспортирующих устройств для решения задач нормирования и планирования электропотребления предприятий деревообрабатывающей промышленности.

Цепные конвейеры

В цепных конвейерах в качестве тягового органа применяют различные цепи. Звездочка в приводном устройстве передает тяговое усилие цепи в результате зацепления.

На рис. 1 показана структурная схема передачи мощности в цепном пластинчатом конвейере, приводимом в движение асинхронным двигателем.

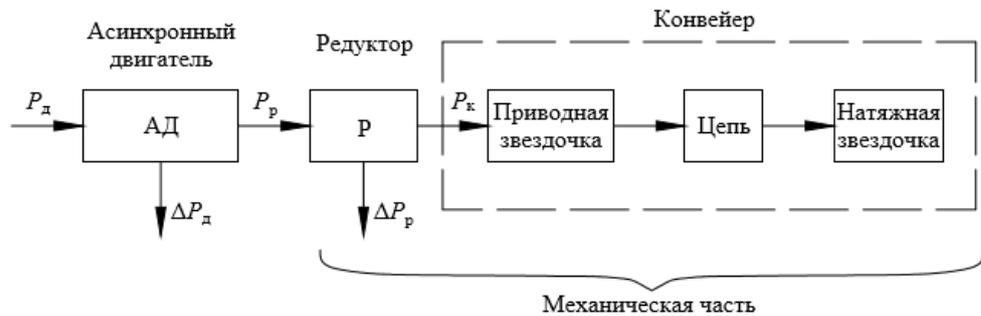


Рис. 1. Структурная схема передачи мощности в цепном конвейере: P_d – мощность, потребляемая двигателем из сети, кВт; P_p – мощность, подводимая к редуктору, кВт; P_k – мощность, подводимая к конвейеру, кВт; ΔP_d – потери мощности в двигателе, кВт; ΔP_p – потери мощности в редукторе, кВт

Подводимая к конвейеру мощность P_k содержит две составляющие: переменную (полезную) $P_{k,пер}$ и постоянную $\Delta P_{k,пост}$ (мощность потерь энергии).

Таким образом,

$$P_k = P_{k,пер} + \Delta P_{k,пост} = c_k V_k + \Delta P_{k,пост}, \quad (1)$$

где c_k – частичный удельный расход энергии, характеризующий конвейер, кВт·ч/м³;

V_k – объемная производительность конвейера, м³/ч.

При номинальной производительности конвейера $V_{ном}$ подводимая к нему мощность имеет номинальное значение:

$$P_{k,ном} = c_k V_{ном} + \Delta P_{k,пост}.$$

Редуктор осуществляет преобразование движения в механической части электропривода конвейера и характеризуется потерями мощности ΔP_p , состоящими из переменных $\Delta P_{p,пер}$ и постоянных $\Delta P_{p,пост}$ потерь энергии:

$$\Delta P_{p,пост} = a_p P_{k,ном}; \quad (2)$$

$$\Delta P_{p,пер} = b_p P_k, \quad (3)$$

где a_p и b_p – коэффициенты постоянных и переменных потерь в редукторе.

Тогда мощность, подводимая к редуктору,

$$P_p = P_k + \Delta P_p = P_k + \Delta P_{p,пост} + \Delta P_{p,пер} = P_k(1 + b_p) + a_p P_{k,ном}. \quad (4)$$

Коэффициенты потерь в редукторе можно определить по номинальному коэффициенту полезного действия – КПД ($\eta_{р.ном}$) и отношению потерь:

$$\chi_p = \frac{\Delta P_{р.пост}}{\Delta P_{р.пер.ном}} = \frac{a_p}{b_p}. \quad (5)$$

При этом номинальный КПД представим как отношение полезной (отдаваемой) мощности $P_{к.ном}$ редуктора к подводимой мощности $P_{р.ном}$:

$$\eta_{р.ном} = \frac{P_{к.ном}}{P_{р.ном}} = \frac{P_{к.ном}}{P_{к.ном}(1 + a_p + b_p)} = \frac{1}{1 + a_p + b_p}, \quad (6)$$

откуда

$$a_p + b_p = \frac{1 - \eta_{р.ном}}{\eta_{р.ном}}. \quad (7)$$

Возвращаясь к (4) и учитывая (1), составим уравнение энергетической характеристики мощности $P_p = f(V_k)$, подводимой к редуктору.

Тогда

$$\begin{aligned} P_p &= (c_k A + \Delta P_{к.пост})(1 + b_p) + a_p P_{к.ном} = \\ &= (1 + b_p)c_k V_k + [(1 + b_p)\Delta P_{к.пост} + a_p P_{к.ном}], \end{aligned} \quad (8)$$

или

$$P_p = c_p V_k + P_{р.пост}, \quad (9)$$

где c_p – частичный удельный расход энергии, характеризующий механическую часть конвейера, кВт·ч/м³.

Слагаемое

$$P_{р.пост} = (1 + b_p)\Delta P_{к.пост} + a_p P_{к.ном} = P_{к.ном}[a_k(1 + b_p) + a_p] \quad (10)$$

есть суммарная мощность постоянных потерь энергии в механической части конвейера (где $a_k = \Delta P_{к.пост}/P_{к.ном}$ – коэффициент постоянных потерь в конвейере).

Определим слагаемые, входящие в (1), используя методику тягового расчета пластинчатого цепного конвейера, изложенную в работе [9]. Введем следующие обозначения:

L – длина конвейера, м;

β – угол наклона конвейера;

L_Γ – длина горизонтальной проекции трассы конвейера, м,

$$L_\Gamma = L \cos \beta;$$

v – скорость движения цепи конвейера, м/с;

H – высота подъема груза, м;

q_Γ – вес транспортируемого груза, приходящийся на 1 м длины конвейера, Н/м;

q_H – вес 1 м настила с цепями и опорными катками, Н/м;

w – коэффициент сопротивления движению ходовой части на катках.

Схема трассы наклонного цепного конвейера приведена на рис. 2.

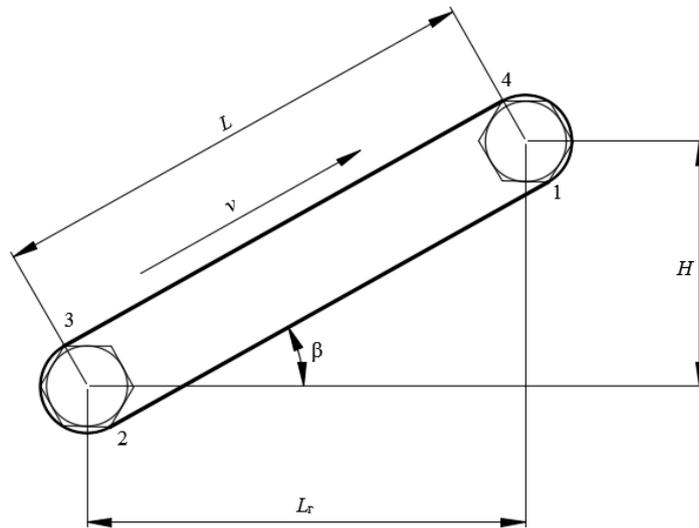


Рис. 2. Схема трассы цепного конвейера

По методике расчет выполняют во всех характерных точках конвейера, при этом силы сопротивления суммируют согласно методу обхода по всему контуру цепи конвейера. Замкнутый контур, образованный тяговым элементом, разбивают на участки так, чтобы на каждом из них характер сопротивления был неизменным, и намечают четыре расчетные точки: т. 1 – на сбегавшей ветви приводной звездочки конвейера, т. 4 – на набегающей ветви приводной звездочки; на натяжной звездочке – соответственно т. 2 и т. 3.

Ввиду того, что тяговое усилие в цепном конвейере передается путем зацепления цепи со звездочками, минимальное натяжение F_{MIN} гибкого элемента может быть принято в точках 1 или 2 в зависимости от соотношения $\text{tg}\beta$ и w . При условии, что $\text{tg}\beta < w$, минимальное натяжение будет иметь место в верхней точке, т. е. $F_{\text{MIN}} = F_1$. В противном случае $F_{\text{MIN}} = F_2$. От нахождения точки с F_{MIN} будут зависеть силы сопротивления в других точках и мощность привода. Определив точку минимального натяжения тягового элемента, примем $F_{\text{MIN}} = 1 \dots 3$ кН.

Рассмотрим случай, когда $F_{\text{MIN}} = F_2$. Тогда силу сопротивления в следующей по направлению движения расчетной т. 3 определим как

$$F_3 = F_2(1 + k_3), \quad (11)$$

где k_3 – коэффициент сопротивления движению цепи на звездочках конвейера, $k_3 = 0,03 \dots 0,07$ [5].

Сила натяжения цепи в т. 4:

$$F_4 = F_3 + (q_{\Gamma} + q_{\text{H}})(L_{\Gamma}w + H). \quad (12)$$

Для определения силы натяжения в т. 1 произведем обход контура против движения цепи.

Тогда

$$F_1 = F_2 - q_H(L_{\Gamma W} - H). \quad (13)$$

Окружное усилие на приводной звездочке

$$F_{\text{ОКР}} = F_4 - F_1 + (F_4 + F_1)k_3, \quad (14)$$

или с учетом (12) и (13):

$$F_{\text{ОКР}} = F_2(3 + k_3)k_3 + q_H(L_{\Gamma W} + H)(1 + k_3) + 2q_H(L_{\Gamma W} + Hk_3). \quad (15)$$

При анализе режимов работы конвейеров различают массовую Q_K (кг/ч) и объемную V_K (м³/ч) производительность. Эти величины связаны зависимостью

$$Q_K = V_K \rho, \quad (16)$$

где ρ – плотность транспортируемого груза, кг/м³.

Объемная производительность оборудования поточной линии при распиловке круглых лесоматериалов i -го диаметра соответствует объемной производительности головного станка и определяется по известной формуле [6]:

$$V_i = \frac{3600}{T_{\text{Ци}} + \sum t_{\text{П}}} q_i K_T, \quad (17)$$

где $T_{\text{Ци}}$ – продолжительность рабочего цикла при обработке бревна i -го диаметра, с;

$\sum t_{\text{П}}$ – суммарные внецикловые потери времени головного станка, с;

q_i – объем бревна i -го диаметра, м³;

K_T – коэффициент использования оперативного времени смены.

Учитывая, что вес транспортируемого груза (q_{Γ} , Н/м), приходящийся на 1 м длины конвейера, определяется по формуле

$$q_{\Gamma} = \frac{Q_K}{v}, \quad (18)$$

массовую производительность (Q_K , кг/ч) необходимо выразить в ньютонах на секунду. Для этого следует использовать формулу

$$Q_K = \frac{V_K \rho g}{3600}, \quad (19)$$

где g – сила тяжести, $g = 9,81$ Н/кг.

Мощность на приводной звездочке, равная мощности P_K , подводимой к конвейеру, определится как

$$P_K = \frac{F_{\text{ОКР}} v}{1000}. \quad (20)$$

Решая совместно уравнения (15) по (20), находим уравнение энергетической характеристики конвейера:

$$P_K = \frac{(L_{\Gamma}w + H)(1 + k_3)\rho g}{1000 \cdot 3600} V_K + \frac{F_2(3 + k_3)k_3 + 2q_H(L_{\Gamma}w + Hk_3)}{1000} v = c_K V_K + \Delta P_{K.ПОСТ}, \quad (21)$$

которое совпадает с полученным ранее выражением (1).

Полагая, что переменные потери мощности в двигателе изменяются пропорционально первой степени нагрузки, можно получить формулы для нахождения коэффициентов переменных (b_D) и постоянных (a_D) потерь в двигателе. Относительная погрешность при этом составляет не более 1,5 % [1].

Тогда

$$a_D + b_D = \frac{1 - \eta_{D.НОМ}}{\eta_{D.НОМ}}, \quad (22)$$

где $\eta_{D.НОМ}$ – номинальный КПД двигателя.

Для определения коэффициентов потерь необходимо также знать отношение потерь:

$$\chi_D = \frac{\Delta P_{D.ПОСТ}}{\Delta P_{D.ПЕР.НОМ}} = \frac{a_D}{b_D}. \quad (23)$$

Следует учесть, что номинальной нагрузкой двигателя будет номинальная мощность $P_{P.НОМ}$, подводимая к редуктору. Таким образом, номинальная мощность на валу двигателя

$$P_{D.НОМ} = P_{P.НОМ} = P_{K.НОМ}(1 + a_P + b_P). \quad (24)$$

Мощность, потребляемая двигателем из сети при произвольной нагрузке:

$$P_D = P_{P.НОМ}[\gamma_P(1 + b_D) + a_D], \quad (25)$$

где γ_P – коэффициент нагрузки редуктора, $\gamma_P = P_P/P_{P.НОМ}$.

Из (25) можно найти зависимость активной мощности, потребляемой двигателем из сети, от производительности конвейера, т. е. уравнение энергетической характеристики $P_D = f(V)$ электропривода конвейера.

Действительно,

$$\begin{aligned} P_D &= P_{P.НОМ}[\gamma_P(1 + b_D) + a_D] = P_{P.НОМ}\gamma_P(1 + b_D) + a_D P_{P.НОМ} = \\ &= P_P(1 + b_D) + a_D P_{P.НОМ} = (c_P V_K + P_{P.ПОСТ})(1 + b_D) + a_D P_{P.НОМ} = \\ &= (1 + b_D)c_P V_K + (1 + b_D)P_{P.ПОСТ} + a_D P_{P.НОМ} = (1 + b_D)(1 + b_P)c_K V_K + \\ &\quad + \{(1 + b_D)[a_K(1 + b_D) + a_P] + a_D(1 + a_P + b_P)\}P_{K.НОМ}, \end{aligned} \quad (26)$$

или с учетом (24):

$$P_D = (1 + b_D)(1 + b_P)c_K V_K + (1 + b_D)(1 + b_P)\Delta P_{K.ПОСТ} + [(1 + b_D)a_P\eta_{P.НОМ} + a_D]P_{D.НОМ} = c_D V_K + P_{D.ПОСТ}, \quad (27)$$

где c_D – частичный удельный расход электроэнергии двигателя, кВт·ч/м³;

$P_{D.ПОСТ}$ – постоянная составляющая мощности, потребляемой двигателем из сети, кВт.

Поделив выражение (27) на объемную производительность конвейера V_K , получим выражение для определения энергетической характеристики полного удельного расхода электроэнергии двигателя конвейера:

$$d = c_D + \frac{P_{Д.ПОСТ}}{V_K}. \quad (28)$$

Анализ полученных зависимостей показывает, что частичные удельные расходы энергии c_K, c_P, c_D в значительной степени зависят от общего коэффициента сопротивления w движению цепи и геометрических характеристик конвейера. Кроме этого, мощность потерь ($P_{Д.ПОСТ}$) энергии пропорциональна скорости (v) движения ленты конвейера.

Практическое значение формул (27) и (28) состоит в том, что они позволяют определить основные показатели электропотребления конвейера через его фактическую производительность и номинальные паспортные данные двигателя и редуктора: номинальную мощность ($P_{Д.НОМ}$), КПД двигателя ($\eta_{Д.НОМ}$) и редуктора ($\eta_{Р.НОМ}$).

Пример. Рассчитать энергетические характеристики продольного цепного конвейера, предназначенного для транспортирования бревен к окорочному станку. Технические данные конвейера представлены ниже.

Скорость движения цепи v	0,5 м/с
Длина конвейера L	25 м
Наибольший диаметр транспортируемого бревна.....	65 см
Ширина полотна B	80 см
Высота подъема H	9 м
Угол наклона конвейера β	21,1°
Установленная мощность двигателя.....	10 кВт
Номинальная частота вращения двигателя	920 об/мин
КПД двигателя.....	0,87
КПД редуктора.....	0,92

Продольный конвейер установлен в рамном потоке, на котором осуществляется распиловка бревен с брусковкой лесопильными рамами 2Р75-1/2 при частоте вращения вала 325 об/мин. Распиловка выполняется пилами толщиной 2,2 мм с шагом зубьев 26 мм. На распиловку поступает хвойный (сосна) пиловочник диаметром 22 см, средняя длина 6 м. Плотность древесины ρ составляет 505 кг/м³ при относительной влажности 12 %. Схемы раскря сортиментов: 16-25-150-25-16 (1-й проход); 16-16-44-44-44-16-16 (2-й проход).

Решение. 1. Расчет производительности V_{Π} лесопильного потока выполняем согласно методике, изложенной в [6]. В результате получаем $V_{\Pi} = 26,61$ м³/ч. Так как данный конвейер транспортирует все бревна, подлежащие распиловке, то его объемная производительность равна производительности потока, т. е. $V_K = V_{\Pi} = 26,61$ м³/ч.

2. Вес транспортируемого груза, приходящийся на 1 м длины конвейера,

$$q_{\Gamma} = \frac{Q_{\text{к}}}{v} = \frac{V_{\text{к}} \rho g}{3600v} = \frac{26,61 \cdot 505 \cdot 9,81}{3600 \cdot 0,5} = 73,24 \text{ Н/м.}$$

3. Вес 1 м настила с цепями и опорными катками приближенно может быть определен по формуле [5]:

$$q_{\text{н}} = (60B + A)g = (60 \cdot 0,8 + 50)9,81 = 961,4 \text{ Н/м,}$$

где A – эмпирический коэффициент, зависящий от плотности древесины и ширины настила, $A = 50$.

4. Принимаем значение коэффициента сопротивления движению катковых цепей на подшипниках скольжения, соответствующее средним условиям работы конвейера, равным 0,1.

5. Точку минимального натяжения определяем из условия

$$\text{tg}\beta < w.$$

Так как $\text{tg}\beta > 0,1$, то условие не выполняется, а значит, минимальное натяжение тягового элемента находится в т. 2.

6. Окружное усилие на приводной звездочке определяем по формуле (15), предварительно приняв $F_2 = F_{\text{MIN}} = 2000 \text{ Н}$.

Тогда

$$\begin{aligned} F_{\text{ОКР}} &= F_2(3 + k_3)k_3 + q_{\Gamma}(L_{\Gamma}w + H)(1 + k_3) + 2q_{\text{н}}(L_{\Gamma}w + Hk_3) = \\ &= 2000(3 + 0,05) \cdot 0,05 + 73,24(23,3 \cdot 0,1 + 9)(1 + 0,05) + 2 \cdot 961,4 \times \\ &\quad \times (23,3 \cdot 0,1 + 9 \cdot 0,05) = 6521,7 \text{ Н.} \end{aligned}$$

7. Мощность на приводной звездочке находим по формуле (20):

$$P_{\text{к}} = \frac{F_{\text{ОКР}}v}{1000} = \frac{6521,7 \cdot 0,5}{1000} = 3,26 \text{ кВт.}$$

8. Частичный удельный расход энергии конвейера

$$\begin{aligned} c_{\text{к}} &= \frac{(L_{\Gamma}w + H)(1 + k_3)\rho g}{1000 \cdot 3600} = \\ &= \frac{(23,3 \cdot 0,1 + 9)(1 + 0,05) \cdot 505 \cdot 9,81}{3\,600\,000} = 0,0164 \text{ кВт} \cdot \text{ч/м}^3. \end{aligned}$$

9. Постоянная составляющая мощности на приводной звездочке

$$\begin{aligned} \Delta P_{\text{к.пост}} &= \frac{F_2(3 + k_3)k_3 + 2q_{\text{н}}(L_{\Gamma}w + Hk_3)}{1000} v = \\ &= \frac{2000(3 + 0,05)0,05 + 2 \cdot 961,4(23,3 \cdot 0,1 + 9 \cdot 0,05)}{1000} \cdot 0,5 = 2,827 \text{ кВт.} \end{aligned}$$

Проверка. 10. Рассчитаем мощность на приводной звездочке по формуле (1).

Тогда $P_{\text{к}} = c_{\text{к}}V_{\text{к}} + \Delta P_{\text{к.пост}} = 0,0164 \cdot 26,61 + 2,827 = 3,26 \text{ кВт}$, что совпадает с полученным выше результатом.

11. Находим коэффициенты потерь энергии в редукторе, принимая для простой кинематической схемы $\chi_p = 1$. Тогда

$$a_p = b_p = \frac{1 - \eta_{p,ном}}{2\eta_{p,ном}} = \frac{1,0 - 0,92}{2 \cdot 0,92} = 0,0435.$$

12. Находим коэффициенты потерь энергии в двигателе. Для рассматриваемого двигателя отношение потерь $\chi_d = 0,3$ [4]. Тогда коэффициент переменных потерь

$$b_d = \frac{1 - \eta_{d,ном}}{1,3\eta_{d,ном}} = \frac{1,0 - 0,87}{1,3 \cdot 0,87} = 0,1149,$$

коэффициент постоянных потерь

$$a_d = \chi_d b_d = 0,3 \cdot 0,1149 = 0,0345.$$

13. Частичный удельный расход электроэнергии двигателя

$$c_d = (1 + b_d)(1 + b_p)c_k = (1 + 0,1149)(1 + 0,0435) \cdot 0,0164 = 0,0191.$$

14. Постоянная составляющая мощности, потребляемой двигателем:

$$P_{д.пост} = (1 + b_d)(1 + b_p)\Delta P_{к.пост} + [(1 + b_d)a_p\eta_{p,ном} + a_d]P_{д,ном} = \\ = (1 + 0,1149)(1 + 0,0435) \cdot 2,827 + \\ + [(1 + 0,1149) \cdot 0,0435 \cdot 0,92 + 0,0345] \cdot 10 = 4,08 \text{ кВт}.$$

15. Мощность, потребляемая двигателем из сети при данной производительности:

$$P_d = c_d V_k + P_{д.пост} = 0,0191 \cdot 26,61 + 4,08 = 4,59 \text{ кВт}.$$

16. Удельный расход энергии при данной производительности определим по формуле (28):

$$d = c_d + \frac{P_{д.пост}}{V_k} = 0,0191 + \frac{4,08}{26,61} = 0,172 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^3.$$

Выполняя аналогичные расчеты для других диаметров распиливаемого сырья, получим следующие значения объемной производительности, потребляемой мощности и удельного расхода энергии (см. таблицу).

Расчет показателей электропотребления

Диаметр бревна, см	Производительность, м ³ /ч	Мощность, потребляемая двигателем из сети, кВт	Удельный расход энергии, кВт·ч/м ³
14	12,6	4,58	0,3632
16	15,9	4,64	0,2918
18	19,8	4,71	0,2379
20	22,3	4,76	0,2136
22	26,6	4,84	0,1720
24	30,6	4,91	0,1605
26	34,7	4,99	0,1435
28	37,6	5,04	0,1341
30	41,4	5,11	0,1233
32	43,3	5,14	0,1188
34	46,4	5,20	0,1120

Окончание таблицы			
Диаметр бревна, см	Производительность, м ³ /ч	Мощность, потребляемая двигателем из сети, кВт	Удельный расход энергии, кВт·ч/м ³
36	48,3	5,23	0,1084
38	51,8	5,30	0,1023
40	54,6	5,35	0,0981
42	58,5	5,42	0,0927
44	59,1	5,43	0,0919
46	59,4	5,44	0,0916
48	61,9	5,49	0,0886
50	64,0	5,52	0,0863
52	66,4	5,57	0,0838

На рис. 3 приведен график, отражающий связь удельного расхода энергии и диаметра бревен. Аналогичные кривые могут быть получены и для других длин бревен и породы древесины.

С учетом нормы расхода круглых лесоматериалов на производство 1 м³ пиломатериалов можно определить производительность лесопильного потока и удельный расход электроэнергии на выработку пиломатериалов для всех диаметров бревен.

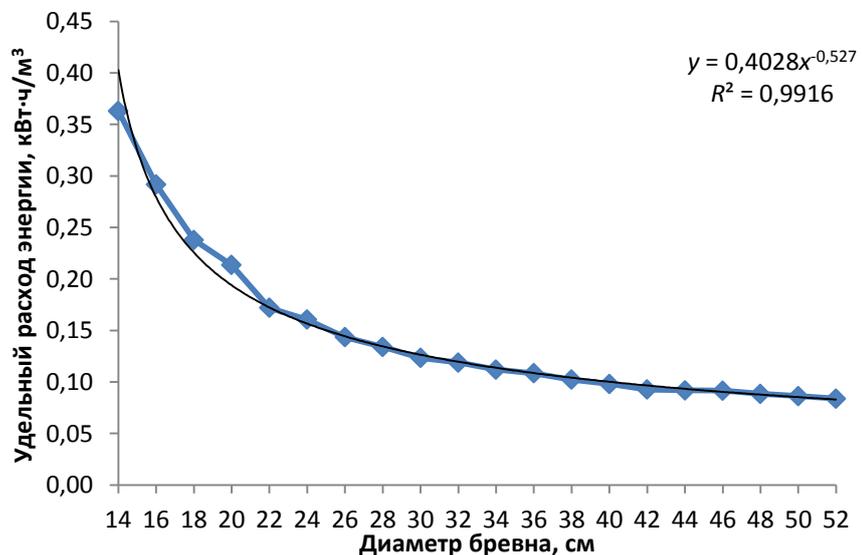


Рис. 3. Зависимость удельного расхода энергии продольного цепного конвейера подачи бревен к окорочному станку от диаметра бревен

Ленточные конвейеры

В ленточных конвейерах в качестве несущего и тягового органа используется прорезиненная гибкая лента, опирающаяся верхней (рабочей) и нижней (холостой) ветвями на роликовые опоры и огибающая на концах конвейера приводной и натяжной барабаны.

На рис. 4 показана структурная схема передачи мощности в ленточном конвейере, приводимом в движение асинхронным двигателем.

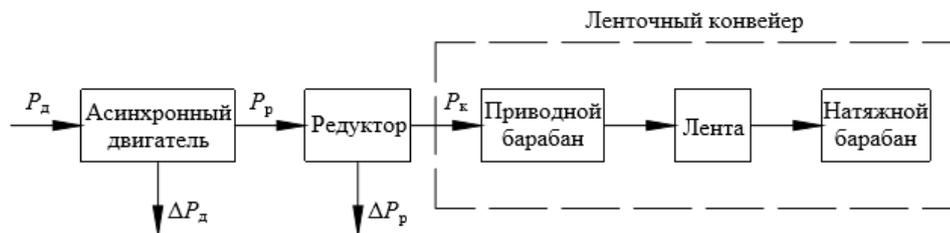


Рис. 4. Структурная схема передачи мощности в ленточном конвейере: P_d – мощность, потребляемая двигателем из сети, кВт; P_p – мощность, подводимая к редуктору, кВт; P_k – мощность, подводимая к конвейеру, кВт; ΔP_d – потери мощности в двигателе, кВт; ΔP_p – потери мощности в редукторе, кВт

Подводимая от редуктора к конвейеру мощность P_k содержит две составляющие: переменную мощность $P_{k.пер}$ и постоянную $\Delta P_{k.пост}$ мощность потерь.

Таким образом

$$P_k = P_{k.пер} + \Delta P_{k.пост} = c_k V_k + \Delta P_{k.пост}. \quad (29)$$

Определим слагаемые, входящие в (29), используя методику выбора мощности приводного двигателя, изложенную в [5]. Введем следующие обозначения:

- L – длина конвейера, м;
- v – скорость движения ленты, м/с;
- q_g – вес груза на 1 м длины конвейера, Н/м;
- q_l – вес 1 м ленты, Н/м;
- q_{rg} – погонный вес вращающихся частей роликов, поддерживающих грузеную ветвь ленты, Н/м;
- q_{rp} – то же порожнюю ветвь ленты, Н/м;
- w – общий коэффициент сопротивления движению ленты на роликоопорах, складывающийся из сопротивления трению в подшипниках и уплотнениях и сопротивления перекачиванию ленты по роликам.

Расчет выполняем во всех характерных точках ленточного конвейера, а силы сопротивления передвижению ленты суммируем согласно методу обхода по всему контуру ленты конвейера. При использовании этого метода замкнутый контур, образованный тяговым элементом, разбиваем на участки так, чтобы на каждом из них характер сопротивления был неизменным. Затем точ-

ку сбегающего тягового элемента с приводного барабана принимаем за начало и обходим последовательно весь контур по ходу движения ленты, подсчитывая сопротивления на отдельных участках и натяжения в тяговом элементе.

Пусть в т. 1 сила натяжения тягового элемента, сбегающего с приводного барабана, $F_1 = F_{CB}$ (рис. 5).

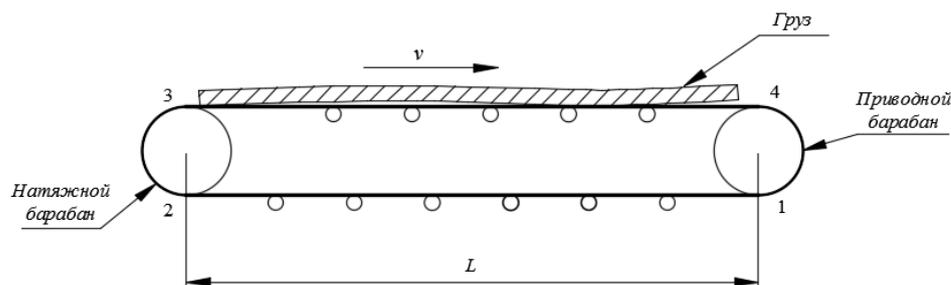


Рис. 5. Схема ленточного конвейера: 1 – 4 – точки приложения силы

Силу сопротивления в следующей по направлению движения т. 2 определяем как

$$F_2 = F_1 + F_{12}, \quad (30)$$

где F_{12} – сила сопротивления движению ленты на участке 1–2,

$$F_{12} = (q_L + q_{RP})Lw.$$

Рассчитываем силу натяжения в т. 3:

$$F_3 = F_2 + F_{23} = F_2 + k_{BH}F_2 = F_2(1 + k_{BH}), \quad (31)$$

где k_{BH} – коэффициент, характеризующий сопротивление на натяжном барабане, $k_{BH} = 0,05 \dots 0,07$ при угле обхвата барабана лентой 180° .

Сила натяжения (набегания) ленты в т. 4:

$$F_4 = F_{HAB} = F_3 + F_{34}, \quad (32)$$

где F_{34} – сила сопротивления на участке 3–4, $F_{34} = (q_G + q_L + q_{RG})Lw$.

С учетом изложенного выше

$$F_4 = F_{HAB} = (1 + k_{BH})[F_1 + (q_L + q_{RP})Lw] + (q_G + q_L + q_{RG})Lw. \quad (33)$$

Окружное усилие F_{OKP} на приводном барабане, которое должно обеспечиваться силами трения между лентой и барабаном, равно разности сил натяжения F_{HAB} ленты в точке набегания ее на барабан и в точке сбегающего F_{CB} ее с барабана:

$$\begin{aligned} F_{OKP} &= F_{HAB} - F_{CB} = F_4 - F_1 = \\ &= F_1 k_{BH} + [(1 + k_{BH})(q_L + q_{RP}) + (q_G + q_L + q_{RG})]Lw. \end{aligned} \quad (34)$$

Для того, чтобы лента не скользила на приводном барабане, между силами F_{HAB} и F_{CB} должно соблюдаться соотношение Эйлера:

$$F_{HAB} \leq F_{CB} e^{\mu\alpha}, \quad (35)$$

где μ – коэффициент сцепления ленты с поверхностью приводного барабана; α – угол обхвата барабана лентой, рад.

Тогда

$$F_{\text{ОКР}} = F_{\text{НАБ}} - F_{\text{СБ}} = F_{\text{СБ}}(e^{\mu\alpha} - 1) = F_1(e^{\mu\alpha} - 1). \quad (36)$$

Решая совместно (34) и (36), получаем

$$F_1 = \frac{[(1 + k_{\text{БН}})(q_{\text{Л}} + q_{\text{РП}}) + (q_{\text{Г}} + q_{\text{Л}} + q_{\text{РГ}})]Lw}{e^{\mu\alpha} - 1 - k_{\text{БН}}}. \quad (37)$$

Согласно (36) окружное усилие

$$F_{\text{ОКР}} = \frac{[(1 + k_{\text{БН}})(q_{\text{Л}} + q_{\text{РП}}) + (q_{\text{Г}} + q_{\text{Л}} + q_{\text{РГ}})]Lw}{e^{\mu\alpha} - 1 - k_{\text{БН}}}(e^{\mu\alpha} - 1). \quad (38)$$

По аналогии с цепным конвейером мощность, подводимая к конвейеру,

$$\begin{aligned} P_{\text{К}} &= \frac{(e^{\mu\alpha} - 1)Lw\rho g}{1000 \cdot 3600 (e^{\mu\alpha} - 1 - k_{\text{БН}})} V + \\ &+ \frac{[(1 + k_{\text{БН}})(q_{\text{Л}} + q_{\text{РП}}) + q_{\text{Л}} + q_{\text{РГ}}]v Lw}{1000(e^{\mu\alpha} - 1 - k_{\text{БН}})} (e^{\mu\alpha} - 1) = \\ &= c_{\text{К}}V_{\text{К}} + \Delta P_{\text{К.ПОСТ}}, \end{aligned} \quad (39)$$

что совпадает с найденной ранее зависимостью (29).

Рассуждая аналогично, получаем зависимость активной мощности, потребляемой двигателем из сети, от производительности конвейера:

$$\begin{aligned} P_{\text{Д}} &= (1 + b_{\text{Д}})(1 + b_{\text{Р}})c_{\text{К}}V_{\text{К}} + (1 + b_{\text{Д}})(1 + b_{\text{Р}})\Delta P_{\text{К.ПОСТ}} + [(1 + b_{\text{Д}})a_{\text{Р}}\eta_{\text{Р.НОМ}} + \\ &+ a_{\text{Д}}]P_{\text{Д.НОМ}} = c_{\text{Д}}V_{\text{К}} + P_{\text{Д.ПОСТ}}. \end{aligned} \quad (40)$$

Пример 2. Рассчитать энергетические характеристики горизонтального ленточного конвейера для транспортировки обрезных досок от лесопильной рамы 2-го ряда, используя условия примера 1. Технические характеристики конвейера представлены ниже.

Ширина ленты.....	500 мм
Длина ленты	50 м
Скорость ленты.....	0,5 м/с
Расстояние между роликовыми опорами нагруженной ветви конвейера...	1,3 м
Расстояние между роликовыми опорами на порожней ветви конвейера....	2,6 м
Вес 1 м (погонного) ленты.....	83 Н/м
Общий коэффициент сопротивления движению по роликовым опорам...	0,025
Коэффициент сцепления ленты с поверхностью приводного барабана.....	0,65
Угол охвата барабана лентой.....	3,14 рад
Коэффициент, характеризующий сопротивление на натяжном барабане.....	0,06
Установленная мощность двигателя.....	5 кВт
КПД редуктора.....	0,92
КПД двигателя.....	0,87

Решение. 1. Выполняем расчет часовой производительности ленточного конвейера.

В работе [7] приведен пример расчета постова при распиловке бревен по указанной схеме. Суммарный объем обрезных досок составляет 0,1188 м³, или 42,42 % объема бревна. В этом случае расчетная производительность ленточного конвейера при транспортировке досок

$$V_K = 0,4242 V_{\Pi} = 0,4242 \cdot 26,61 = 11,29 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

2. Вес транспортируемого груза, приходящийся на 1 м длины конвейера,

$$q_{\Gamma} = \frac{V_K \rho g}{3600 v} = \frac{11,29 \cdot 505 \cdot 9,81}{3600 \cdot 0,5} = 31,06 \text{ Н/м}.$$

3. Погонный вес вращающихся частей роликов, поддерживающих грузеную ветвь,

$$q_{\text{РГ}} = \frac{q_{\text{Р}}}{l_{\text{Р}}} = \frac{73,5}{1,3} = 56,54 \text{ Н/м}.$$

4. Погонный вес вращающихся частей роликов, поддерживающих порожнюю ветвь,

$$q_{\text{РП}} = \frac{q_{\text{Р}}}{2l_{\text{Р}}} = \frac{73,5}{2,6} = 28,27 \text{ Н/м}.$$

5. Окружное усилие на приводном барабане

$$F_{\text{ОКР}} = \frac{[(1 + k_{\text{БН}})(q_{\text{Л}} + q_{\text{РП}}) + (q_{\Gamma} + q_{\text{Л}} + q_{\text{РГ}})]Lw}{e^{\mu\alpha} - 1 - k_{\text{БН}}} (e^{\mu\alpha} - 1) =$$

$$= \frac{[(1 + 0,06)(83 + 28,27) + (31,06 + 83 + 56,54)] \cdot 50 \cdot 0,025}{e^{0,65 \cdot 3,14} - 1 - 0,06} \times$$

$$\times (e^{0,65 \cdot 3,14} - 1) = 364,4 \text{ Н}.$$

6. Мощность на приводном барабане конвейера

$$P_K = \frac{F_{\text{ОКР}} v}{1000} = \frac{364,4 \cdot 0,5}{1000} = 0,182 \text{ кВт}.$$

7. Частичный удельный расход энергии конвейера

$$c_K = \frac{(e^{\mu\alpha} - 1)Lw\rho g}{1000 \cdot 3600 (e^{\mu\alpha} - 1 - k_{\text{БН}})} = \frac{(e^{0,65 \cdot 3,14} - 1) \cdot 50 \cdot 0,025 \cdot 505 \cdot 9,81}{3600000 (e^{0,65 \cdot 3,14} - 1 - 0,06)} =$$

$$= 0,00174 \text{ кВт} \cdot \text{ч/м}^3.$$

8. Постоянная составляющая мощности на приводном барабане

$$\begin{aligned} \Delta P_{\text{к.пост}} &= \frac{[(1 + k_{\text{БН}})(q_{\text{Л}} + q_{\text{РП}}) + q_{\text{Л}} + q_{\text{РГ}}]vLw}{1000(e^{\mu\alpha} - 1 - k_{\text{БН}})}(e^{\mu\alpha} - 1) = \\ &= \frac{[(1 + 0,06)(83 + 28,27) + 83 + 56,54] \cdot 0,5 \cdot 50 \cdot 0,025}{1000(e^{0,65 \cdot 3,14} - 1 - 0,06)}(e^{0,65 \cdot 3,14} - 1) = \\ &= 0,162 \text{ кВт}. \end{aligned}$$

Проверка. 9. Рассчитываем мощность на приводной звездочке по формуле (1):

$$P_{\text{к}} = c_{\text{к}}V + \Delta P_{\text{к.пост}} = 0,00174 \cdot 11,29 + 0,162 = 0,182 \text{ кВт},$$

что совпадает с полученным выше результатом.

10. Находим коэффициенты потерь энергии в редукторе, принимая для простой кинематической схемы $\chi_{\text{р}} = 1$. Тогда

$$a_{\text{р}} = b_{\text{р}} = \frac{1 - \eta_{\text{р.ном}}}{2\eta_{\text{р.ном}}} = \frac{1 - 0,92}{2 \cdot 0,92} = 0,0435.$$

11. Находим коэффициенты потерь энергии в двигателе. Для рассматриваемого двигателя отношение потерь $\chi_{\text{д}} = 0,4$ [4]. Тогда коэффициент переменных потерь

$$b_{\text{д}} = \frac{1 - \eta_{\text{д.ном}}}{1,4\eta_{\text{д.ном}}} = \frac{1 - 0,87}{1,4 \cdot 0,87} = 0,1067,$$

коэффициент постоянных потерь

$$a_{\text{д}} = \chi_{\text{д}}b_{\text{д}} = 0,4 \cdot 0,1067 = 0,0427.$$

12. Частичный удельный расход электроэнергии двигателя

$$\begin{aligned} c_{\text{д}} &= (1 + b_{\text{д}})(1 + b_{\text{р}})c_{\text{к}} = (1 + 0,1067)(1 + 0,0435) \cdot 0,00174 = \\ &= 0,002 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^3. \end{aligned}$$

13. Постоянная составляющая мощности, потребляемой двигателем,

$$\begin{aligned} P_{\text{д.пост}} &= (1 + b_{\text{д}})(1 + b_{\text{р}})\Delta P_{\text{к.пост}} + [(1 + b_{\text{д}})a_{\text{р}}\eta_{\text{р.ном}} + a_{\text{д}}]P_{\text{д.ном}} = \\ &= (1 + 0,1067) \cdot (1 + 0,0435) \cdot 0,162 + \\ &+ [(1 + 0,1067) \cdot 0,0435 \cdot 0,92 + 0,0427] \cdot 5 = 0,62 \text{ кВт}. \end{aligned}$$

14. Мощность, потребляемая двигателем из сети при данной производительности,

$$P_{\text{д}} = c_{\text{д}}V_{\text{к}} + P_{\text{д.пост}} = 0,002 \cdot 11,29 + 0,62 = 0,64 \text{ кВт}.$$

15. Полный удельный расход электроэнергии, отнесенный к производительности лесопильного потока,

$$d = c_d \frac{V_k}{V_{\Pi}} + \frac{P_{\text{д.пост}}}{V_{\Pi}} = 0,02 \cdot \frac{11,29}{26,61} + \frac{0,62}{26,61} = 0,0318 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^3;$$

полный удельный расход электроэнергии, отнесенный к производительности ленточного конвейера,

$$d = c_d + \frac{P_{\text{д.пост}}}{V_k} = 0,02 + \frac{0,62}{11,29} = 0,0749 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^3.$$

Выполняя аналогичные расчеты для других диаметров распиливаемого сырья, получаем значения объемной производительности, потребляемой мощности и удельного расхода энергии приведенные в таблице (см. с. 139).

Заключение

В результате исследований найдены аналитические зависимости между потребляемой мощностью, удельным потреблением электроэнергии и производительностью транспортных устройств, получившие название энергетических характеристик.

Установлено, что энергетические характеристики потребляемой мощности конвейеров носят линейный характер. Наличие энергетических характеристик позволяет более качественно подходить к вопросу планирования и нормирования удельных расходов энергии по каждому типоразмеру сортиментов и производству в целом.

Выявлены основные технологические факторы и параметры оборудования и сырья, влияющие на удельное потребление электроэнергии транспортными устройствами.

Используемый метод дает возможность выразить полезную нагрузку на агрегат через производительность – показатель, по которому оцениваются результаты работы агрегата, технологического участка, цеха и т. д.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агеев С.П. Энергетическая характеристика электропривода механизма окорки роторного окорочного станка // Лесн. журн. 2007. № 3. С. 94–100. (Изв. высш. учеб. заведений).
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. 96–100. (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Алексин М.В., Синев В.С., Пижурич П.А., Коперин И.Ф., Головкин С.И., Павлюк В.А. Экономия энергоресурсов в лесной и деревообрабатывающей промышленности. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 216 с.
5. Зенков Р.Л., Ивашиков И.И., Колобов Л.Н. Машины непрерывного транспорта: учеб. для вузов. М.: Машиностроение, 1987. 432 с.

6. Инструкция по расчету производственной мощности лесопильного предприятия. Архангельск: ЦНИИМОД, 1986. 65 с.
7. Рыкунин С.Н., Пятков В.Е. Методы составления и расчета поставок: учеб. пособие. М.: МГУЛ, 2002. 69 с.
8. Силаев А.Б., Козориз Г.Ф. Подъемные и транспортные устройства деревообрабатывающих предприятий: учеб. для вузов. М.: Лесн. пром-сть, 1989. 409 с.
9. Стиваковский А.О., Дьячков В.К. Транспортирующие машины: учеб. пособие для машиностроит. вузов. М.: Машиностроение, 1983. 487 с.
10. Kreisel K., Jochem E. Druckluft rationell erzeugen und nutzen // Fachartikel im Rahmen der Initiative «Energie effizient nutzen-Schwerpunkt Storm», Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, 1996.
11. Leber J.F., Matthews M.B. Neurale Netsuke: eine Uebersicht. Bull. SEV/VSE 80.1989.
12. Rummelhart D.E., Hinton D.E., Williams R.J. Learning Representations by Back-Propagating Errors // Nature. 1986. Vol. 323. Pp. 533–536.
13. Tonsing E. Stromsparende Beleuchtungssysteme – mehr Licht für weniger Kosten // Fachartikel im Rahmen der Initiative «Energie effizient nutzen-Schwerpunkt Storm». Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, 1996.

Поступила 26.12.16

UDC 621.311
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.130

Electrical Energy Rationing of Transport Units in the Woodworking Industry

S.P. Ageev, Doctor of Engineering Sciences, Professor

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering,
2-ya Krasnoarmeyskaya ul., 4, Saint Petersburg, 190005, Russian Federation;
e-mail: doctor.mart11@mail.ru

Electrical energy rationing in woodworking enterprises is based in accordance with the decomposition of production into the items and processes by the output types, and individual sectors (units, shops, enterprises). We distinguish operational specific power requirements for items and total specific power requirements for separate industrial processes. The purpose of this article is to develop an approach to the operating quota setting of the specific energy consumption for underway operations of the woodworking industry: wood hauling, timber transporting from lumber yards to the shops, and technical operations servicing between separate units. We investigate the energy properties of conveyor electric drives when the power waste and useful power consumption are determined by some loss factors and unit capacity. The analytical dependencies – the energetic characteristics – between power consumption, specific energy consumption and conveyor capacity are obtained. This method allows us to express the useful load on the unit through productivity – an evaluating indicator of the results of the unit, site, and shop operation. The presence of energy characteristics helps to consider the issue of specific energy consumption scheduling for each type of timber assortments and the production as a whole. The energy characteristic of power consump-

For citation: Ageev S.P. Electrical Energy Rationing of Transport Units in the Woodworking Industry. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 4, pp. 130–148. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.130

tion of transport devices is linear; of the specific energy consumption is non-linear. The main technological factors and parameters of equipment and raw materials influencing on the specific energy consumption of conveyors are revealed.

Keywords: conveyer, performance, energetic characteristic, consumed power, specific energy consumption, electric power waste, underway operation, woodworking industry.

REFERENCES

1. Ageev S.P. Energeticheskaya kharakteristika elektroprivoda mekhanizma okorki rotnogo okorochnogo stanka [Energy Characteristic of Electric Drive of Barking Mechanism of Rotor Debarking Machine]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2007, no. 3, pp. 94–100.
2. Ageev S.P. Energeticheskaya kharakteristika mekhanizma rezaniya lesopil'noy ramy [Energetic Characteristic of Cutting Mechanism of Frame Saw]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2009, no. 1, pp. 95–100.
3. Ageev S.P. Energeticheskaya kharakteristika elektroprivoda mekhanizma rezaniya lesopil'noy ramy [Energy Characteristic of Electric Drive for Cutting Mechanism of Saw Frame]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2009, no. 2, pp. 96–101.
4. Aleksin M.V., Sinev V.S., Pizhurin P.A., Koperin I.F., Golovkov S.I., Pavlosyuk V.A. *Ekonomiya energoresursov v lesnoy i derevoobrabatyvayushchey promyshlennosti* [Energy Conservation in the Timber and Woodworking Industry]. Moscow, 1982. 216 p.
5. Zenkov R.L., Ivashkov I.I., Kolobov L.N. *Mashiny nepreryvnogo transporta: ucheb. dlya vuzov* [Stream-Flow Transportation]. Moscow, 1987. 432 p.
6. *Instruktsiya po raschetu proizvodstvennoy moshchnosti lesopil'nogo predpriyatiya* [Instruction on the Production Capacity Calculation of the Sawmill]. Arkhangel'sk, 1986. 65 p.
7. Rykunin S.N., Pyatkov V.E. *Metody sostavleniya i rascheta postavov: ucheb. posobie* [Methods of Compilation and Calculation of Sawing Patterns]. Moscow, 2002. 69 p.
8. Silaev A.B., Kozoriz G.F. *Pod'emnye i transportnye ustroystva derevoobrabatyvayushchikh predpriyatiy: ucheb. dlya vuzov* [Lifting and Transport Devices of Woodworking Enterprises]. Moscow, 1989. 409 p.
9. Spivakovskiy A.O., D'yachkov V.K. *Transportiruyushchie mashiny: ucheb. posobie dlya mashinostroit. vuzov* [Transporting Machines]. Moscow, 1983. 487 p.
10. Kreisel K., Jochem E. Druckluft rationell erzeugen und nutzen. *Fachartikel im Rahmen der Initiative "Energie effizient nutzen – Schwerpunkt Storm"*. Baden-Württemberg, Germany, 1996.
11. Matthews M.B., Leber J.F. Neurale Netzwerke: Ein Übersicht. *Bulletin of the Swiss Electronic Society (SEV)*, 1989, vol. 15, pp. 923–932.
12. Rumelhart D.E., Hinton G.E., Williams R.J. Learning Representations by Back-Propagating Errors. *Nature*, 1986, vol. 323, pp. 533–536.
13. 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 December 26, 2016

УДК 662.6/9

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.149

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЖИГАНИЯ ДРЕВЕСНОГО БИОТОПЛИВА В ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩЕЙ УСТАНОВКЕ

В.К. Любов, д-р техн. наук, проф.

А.Н. Попов, ассист.

Е.И. Попова, ассист.

П.В. Малыгин, ассист.

Л.М. Солнышкова, студ.

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: vk.lubov@mail.ru, wav1@inbox.ru, ev.popova@narfu.ru, PeterPen13@rambler.ru, solnyshkva@yandex.ru

Северо-запад России обладает огромными запасами древесины, поэтому для этого региона актуальны вопросы максимально эффективного использования древесной биомассы. Вовлечение в топливно-энергетический баланс древесного биотоплива позволяет уменьшить негативное влияние объектов энергетики на окружающую среду и сохранить потенциал невозобновляемых видов топлива для будущих поколений. Эффективным направлением комплексного решения энергетических и экологических проблем при обеспечении отопительных нагрузок потребителей коммунально-бытового сектора является применение современных устройств, работающих на торфе и твердых видах биотоплива. В этом направлении большая роль принадлежит высокоэффективному отопительному оборудованию. Цель работы – изучение теплотехнических и экологических показателей водогрейного котла Firematic 60 (фирма «Herz Energietechnik GmbH», Австрия) при сжигании древесных гранул, коры, прессованной древесно-шлифовальной пыли, гранулированного и кускового торфа. В ходе экспериментов определены составляющие теплового баланса котла и эмиссии газообразных выбросов при сжигании твердых топлив, исследованы выбросы твердых частиц и содержание в них частиц сажи. Комплексное энергетическое обследование показало, что котел Firematic 60 обеспечивает высокие эколого-экономические показатели при сжигании биотоплива, а также гранулированного торфа. Его следует использовать для теплоснабжения малоэтажных зданий в условиях Северо-Арктического региона.

Ключевые слова: водогрейный котел, древесное топливо, вредные вещества, выбросы сажевых частиц, топка, горелка, потери тепла, коэффициент полезного действия, теплотехнические и гранулометрические характеристики топлива.

Для цитирования: Любов В.К., Попов А.Н., Попова Е.И., Малыгин П.В., Солнышкова Л.М. Исследование эффективности сжигания древесного биотоплива в теплогенерирующей установке // Лесн. журн. 2017. № 4. С.149–161. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.149

Введение

Одно из приоритетных направлений развития энергетики – использование возобновляемых источников энергии [1]. К таким источникам относится древесная биомасса, применение которой в регионах с развитым лесопромышленным комплексом является перспективным решением, обеспечивающим энергетическую независимость территории. Кроме того, использование древесной биомассы в энергетике позволяет утилизировать побочные продукты лесозаготовительных и деревообрабатывающих предприятий, получать более дешевую энергию, снижать вредное воздействие на окружающую среду и др. [1, 7].

Объекты и методы исследования

Исследования проводили в учебно-научном центре энергетических инноваций Высшей школы энергетики, нефти и газа САФУ им. М.В. Ломоносова. Система централизованного теплоснабжения здания центра горизонтальная двухтрубная с попутным движением теплоносителя. Приточно-вытяжная система вентиляции оснащена теплорекуператорами, что обеспечивает предварительный подогрев приточного воздуха. Резервным источником теплоснабжения является водогрейный котел Figematic 60 австрийской фирмы «Herz Energietechnik GmbH», который также используется для проведения лабораторного практикума и научно-исследовательских работ. Котел установлен в лаборатории котельно-топочного оборудования, рассчитан для работы на древесных гранулах и щепе. По данным фирмы, номинальная мощность котла (60 кВт) обеспечивается при сжигании биотоплива с относительной влажностью $W_r \leq 25\%$.

Водогрейный котел оснащен топливным бункером со шнековой системой подачи биотоплива в промежуточную емкость и устройством защиты от обратного возгорания (УЗОВ). Клапан-отсекатель УЗОВ обеспечивает поступление топлива в приемный бункер, из которого топливо шнековым питателем подается в нижнюю часть горелки объемного типа. Горелка имеет сложный профиль, в ее нижней части установлена колосниковая решетка, состоящая из двух частей. Для очистки решетки предусмотрена возможность ее поворота на 90° . Подача топлива осуществляется в следующем режиме: рабочий цикл–пауза. Для автоматического розжига топлива используется электрический тепловентилятор. За счет разрежения, создаваемого дымососом, в горелочное устройство поступает как первичный, так и вторичный воздух. Основная часть вторичного воздуха подается через 8 тангенциальных сопел, что и обеспечивает догорание горючих компонентов топлива.

Рабочее давление теплоносителя на выходе из котла не должно превышать 0,3 МПа, температура – 95°C . Водогрейный котел имеет два контура. В первом, оборудованном буферной емкостью, циркулирует химически очищенная деаэрированная вода. Расчетный температурный режим для рабочей среды этого контура – $95/60^\circ\text{C}$. Нагрев сетевой воды второго контура осуществляется с помощью пластинчатого теплообменника.

Из объемной горелки продукты сгорания поступают в камеру догорания, где отдают часть тепла и покидают ее через выходное окно, расположенное на задней стене. Дымовые газы обеспечивают нагрев котловой воды первого контура, совершая два хода в дымогарных трубах, после чего дымососом направляются в дымовую трубу. Для повышения эффективности теплообмена в дымогарных трубах установлены турбулизаторы-очистители. Продукты сгорания после первого хода в дымогарных трубах совершают поворот на 180° , при этом наиболее крупные фракции золы сепарируются в зольник, откуда шнеком удаляются в сборную емкость. Зола и шлак из топочной камеры индивидуальным шнеком выводятся в сборную емкость.

Для обеспечения плавного регулирования производительности котла привод дымососа имеет частотное регулирование. Водогрейный котел оборудован необходимыми приборами безопасности [2, 3]. Система автоматического регулирования с интегрированным микропроцессорным модулем BioControl 3000 оснащена датчиками контроля содержания кислорода в уходящих газах, датчиками температуры в камере догорания и в газоходе после котла, а также датчиками температуры воды на входе и выходе и др. Она обеспечивает эффективное сжигание биотоплива, погодозависимое регулирование отопительных контуров и управление другими важнейшими параметрами работы котельной установки.

Энергообследование котла проводили в четыре этапа. В ходе первого этапа выполнялись балансовые опыты при подаче в топку котла древесных гранул диаметром 8 мм, имеющих достаточно однородный гранулометрический состав (рис. 1) и теплотехнические характеристики, отвечающие требованиям европейских стандартов (табл. 1, опыты № 1, 2). На втором этапе энергообследования котел работал на коре сосны (табл. 1, опыты № 3, 4), гранулометрический состав которой приведен на рис. 1. В ходе третьего этапа

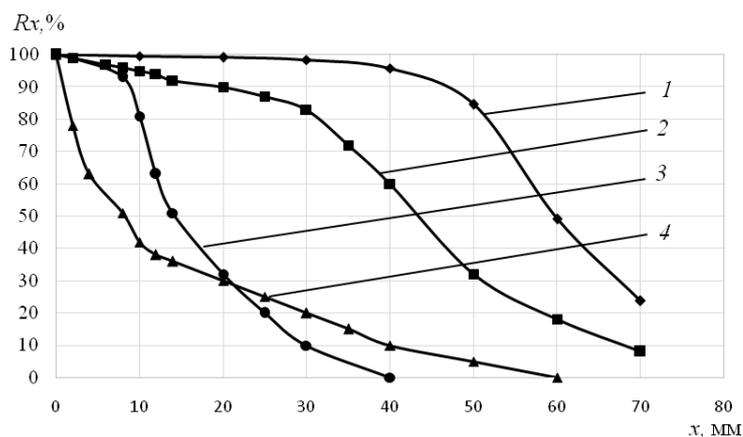


Рис. 1. Гранулометрический состав сжигаемых топлив: 1 – кора ели; 2 – кора сосны; 3 – древесные гранулы диаметром 8 мм; 4 – кусковой торф

выполнялись балансовые опыты при подаче в топку торфяных гранул диаметром 10 мм (табл. 2, опыты № 1, 2) с достаточно однородным гранулометрическим составом и кускового торфа (табл. 2, опыты № 3, 4). Кусковой торф имел высокую степень неоднородности гранулометрического состава (средний коэффициент полидисперсности $n = 0,772$, коэффициент, характеризующий крупность состава, $b = 0,661 \cdot 10^{-3}$) (рис. 1). На четвертом этапе энергообследования в топке котла сжигалась кора ели (табл. 3, опыты № 1, 2) и прессованная древесно-шлифовальная пыль (ДШП) и опилки с линии обрезки фанеры (табл. 3, опыты № 3, 4). Брикетты из мелкодисперсных побочных продуктов фанерного производства предварительно были разделены на части, удовлетворяющие требованиям (G 50) к системе подачи топлива при работе на щепе. Для каждого вида топлива приведены результаты только двух опытов, отражающие полученные энергоэкологические показатели работы котла.

Таблица 1

**Результаты энергетического обследования водогрейного котла
при работе на древесных гранулах и коре сосны**

Показатель	Обозначение, размерность	Номер опыта			
		1	2	3	4
Теплопроизводительность	Q , кВт	64,0	103,5	47,6	40,7
Рабочее давление воды на выходе	P_v , МПа	0,27	0,27	0,18	0,17
Температура воды на выходе	$t_{\text{вых}}$, °С	50,0	79,0	68,5	68,1
Влажность гранул	W_t^r , %	8,38		13,72	
Зольность гранул	A^r , %	0,50		2,52	
Выход летучих веществ	V^{daf} , %	85,10		76,88	
Низшая теплота сгорания	Q_i^r , МДж/кг	17,30		17,98	
Температура уходящих газов	$\vartheta_{\text{ух}}$, °С	106,0	151,0	116,0	106,0
Избыток воздуха в уходящих газах	$\alpha_{\text{ух}}$	1,39	1,42	1,57	1,79
Потери тепла, %:					
с уходящими газами	q_2	4,17	6,71	4,61	4,55
с химнедожогом	q_3	0,02	0,01	0,09	0,14
с мехнедожогом	q_4	0,12	0,11	1,46	1,46
в окружающую среду	q_5	0,47	0,29	0,63	0,74
КПД котла брутто	$\eta_{\text{бр}}$, %	95,20	92,87	93,15	93,06
Полный расход биотоплива	B , кг/ч	14,0	23,0	10,0	9,0
Расход газов за дымососом	G , м ³ /ч	94,1	157,6	69,6	70,5
Эмиссия, мг/МДж:					
NO _x	NO _x	52	52	57	92
CO	CO	21	12	85	126

Таблица 2

**Результаты энергетического обследования водогрейного котла
при работе на торфяных гранулах и кусковом торфе**

Показатель	Обозначение, размерность	Номер опыта			
		1	2	3	4
Теплопроизводительность	Q , кВт	79,7	79,7	74,8	74,8
Рабочее давление воды на выходе	P_b , МПа	0,15	0,20	0,27	0,27
Температура воды на выходе	$t_{\text{вых}}$, °С	74,0	75,0	78,0	78,0
Влажность топлива	W_t^r , %	16,50		8,20	
Зольность топлива	A^r , %	9,95		11,76	
Содержание серы	S_t^r , %	0,22		0,19	
Выход летучих веществ	V^{daf} , %	74,56		67,88	
Низшая теплота сгорания	Q_i^r , МДж/кг	14,875		15,469	
Температура уходящих газов	ϑ_{yx} , °С	137,2	137,5	135,2	133,0
Избыток воздуха в уходящих газах	α_{yx}	1,38	1,41	1,27	1,24
Потери тепла, %:					
с уходящими газами	q_2	5,77	5,88	5,29	5,07
с химнедожогом	q_3	0,01	0,02	0,00	0,01
с мехнедожогом	q_4	2,17	2,17	13,00	13,00
в окружающую среду	q_5	0,38	0,38	0,40	0,40
КПД котла брутто	$\eta_{бр}$, %	91,37	91,24	81,01	81,22
Полный расход биотоплива	B , кг/ч	21	21	21	21
Расход газов за дымососом	G , м ³ /ч	121,6	123,9	120,7	118,2
Эмиссия, мг/МДж:					
NO _x	NO _x	169	177	156	136
CO	CO	7	23	4	11
SO ₂	SO ₂	338	331	272	278
твердых частиц	$E_{тв.ч}$	12,6	12,8	32,4	32,5

Теплотехнический анализ топлив проводили с помощью установок лаборатории термического анализа и калориметра IKA C 2000 basic Version 2 с жидкостным криотермостатом LOIP FT-216-25, исследование гранулометрического состава сжигаемых топлив и очаговых остатков – анализатора AS 200 Control. Для определения механической прочности и истираемости гранул применяли лигнотестер NHP 100.

Поле скоростей и расходов дымовых газов фиксировали пневмометрической трубкой и микроанометром прецизионного прибора Testo-435. Результаты исследования поля скоростей использовали для определения концентрации твердых частиц в дымовых газах после котла. При этом применяли метод внешней фильтрации, для реализации которого использовали аспирационную установку ОП-442 ТЦ, пылезаборную трубку, фильтродержатель АФА и др. Состав продуктов сгорания исследовали на газоанализаторе Testo-350 XL.

Таблица 3

**Результаты энергетического обследования водогрейного котла
при работе на коре ели и прессованной ДШП**

Показатель	Обозначение, размерность	Номер опыта			
		1	2	3	4
Теплопроизводительность	Q , кВт	71,1	75,0	43,8	39,9
Рабочее давление воды на выходе	P_B , МПа	0,32	0,32	0,25	0,25
Температура воды на выходе	$t_{\text{вых}}$, °С	77,0	80,0	69,0	68,0
Влажность топлива	W_t^r , %	11,52		5,85	
Зольность топлива	A^r , %	2,23		0,82	
Выход летучих веществ	V^{daf} , %	76,56		82,12	
Низшая теплота сгорания	Q_{is}^r , МДж/кг	16,88		16,90	
Температура уходящих газов	$\vartheta_{\text{ух}}$, °С	148,0	155,0	123,0	117,0
Избыток воздуха в уходящих газах	$\alpha_{\text{ух}}$	1,40	1,35	1,54	1,62
Потери тепла:					
с уходящими газами	q_2	6,31	6,49	5,98	5,85
с химнедожогом	q_3	0,03	0,02	0,03	0,04
с мехнедожогом	q_4	0,89	0,89	0,85	0,85
в окружающую среду	q_5	0,42	0,40	0,68	0,75
КПД котла брутто	$\eta_{\text{бр}}$, %	92,30	92,14	92,43	92,49
Полный расход биотоплива	B , кг/ч	16,0	17,0	10,0	9,0
Расход газов за дымососом	G , $\text{м}^3/\text{ч}$	103,50	106,50	78,68	74,12
Эмиссия, мг/МДж:					
NO_x	NO_x	64	78	167	209
СО	СО	27	24	35	49
твердых частиц	$\text{Э}_{\text{тв.ч}}$	10,34	10,18	10,65	11,04

Расход топлива определяли по уравнению обратного теплового баланса. Экспериментальные данные обрабатывали с помощью многомодульного программно-методического комплекса [1].

После автоматического запуска время выхода котла на номинальную мощность не превышало 20 мин, через 33...38 мин система автоматики обеспечивала оптимальную температуру воды на входе в котел ~60 °С.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ условий тепловой работы котла показал, что потери тепла с уходящими газами $q_2 = 4,17...6,71$ %, при этом с ростом нагрузки и повышением температуры воды на входе в котел они увеличиваются (табл. 1–3).

Ступенчатая схема сжигания топлива и эффективное перемешивание вторичного воздуха с горючими компонентами топлива, а также поддержание коэффициента избытка воздуха в топке в диапазоне 1,24...1,61 позволили обеспечить низкие значения потерь тепла от химической неполноты сгорания топлива (табл. 1–3). Концентрации оксида углерода (СО), приведенные к коэффициенту избытка воздуха 1,4, составили 9...116 мг/м³.

При работе котла на коре сосны избыточная подача воздуха в горелку вызвала уменьшение температурного уровня и времени пребывания горючих компонентов топлива в топочной камере, при этом концентрация СО выросла до 246...954 мг/нм³, потери тепла с химическим недожогом – до $q_3 = 0,09...0,35$ %. Поддержание коэффициента избытка воздуха на уровне, близком к оптимальному, при сжигании коры ели, имеющей похожие теплотехнические и гранулометрические характеристики с корой сосны, позволило обеспечить меньшую эмиссию СО и снизить потери тепла с химическим недожогом (табл. 3, опыты № 1, 2).

Потери тепла с механической неполнотой сгорания при работе котла на древесных гранулах имели очень низкий уровень (см. табл. 1, опыты № 1, 2), что объясняется однородностью гранулометрического состава сжигаемого топлива, его низкой зольностью и достаточно высокой теплотой сгорания. Данные факторы обеспечили высокую полноту выгорания горючих компонентов в очаговых остатках ($C_{\text{шл}}^r = 8,00...10,10$ %, $C_{\text{ун}}^r \leq 17,50$ %).

Кора сосны и ели, в отличие от древесных гранул, имеет более высокую зольность (табл. 1–3) и менее однородный гранулометрический состав (рис. 1), что вызвало увеличение потерь теплоты с механической неполнотой сгорания до $q_4 = 0,89...1,46$ %, при этом содержание горючих веществ в уносе твердых частиц из топки выросло до $C_{\text{ун}}^r = 24,5...56,5$ % (меньшие значения для коры ели).

Гранулометрический состав очаговых остатков, отобранных из зольников топки и теплообменника, приведен на рис. 2, 3.

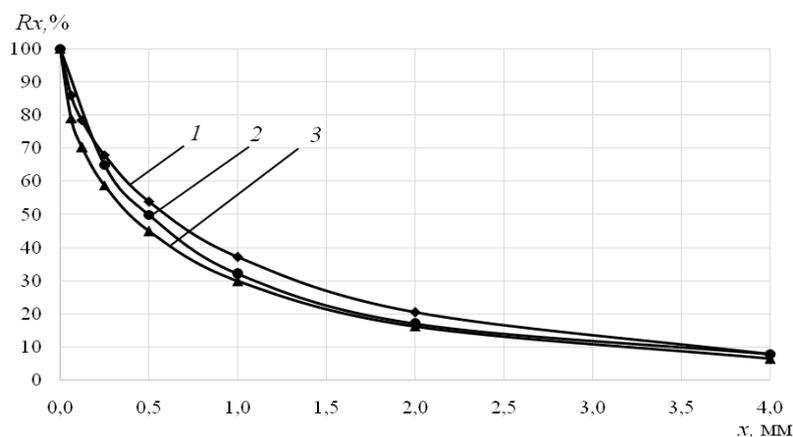


Рис. 2. Гранулометрический состав очаговых остатков, отобранных из зольников топки при сжигании: 1 – кора ели; 2 – кора сосны; 3 – прессованная ДШП

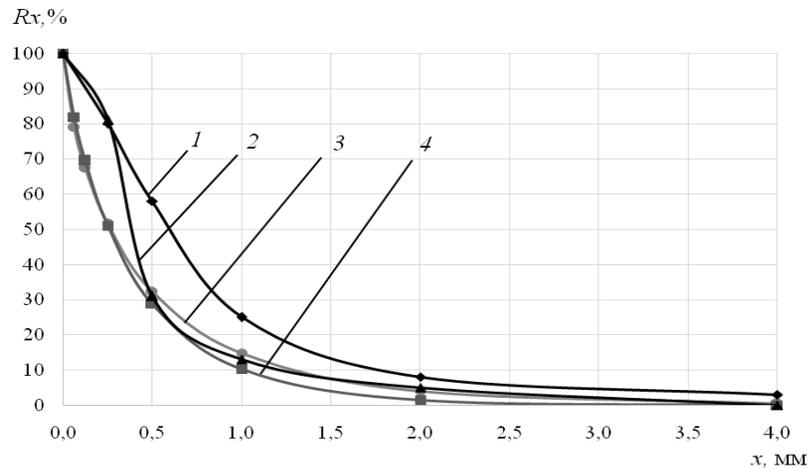


Рис. 3. Гранулометрический состав очаговых остатков, отобранных из теплообменника при сжигании: 1 – кора сосны; 2 – кусковой торф; 3 – прессованная ДШП; 4 – кора ели

При работе котла на торфяных гранулах, зольность которых почти в 4 раза больше, чем коры, потеря тепла с механической неполнотой сгорания увеличилась до $q_4 = 2,17\%$ ($C_{\text{ун}}^x = 19,50\%$).

Переход на сжигание кускового торфа с большим содержанием мелких «высокопарусных» частиц вызвал резкое повышение потери тепла с механической неполнотой сгорания: $q_4 = 13,00\%$ ($C_{\text{шл}}^x = 20,70\%$, $C_{\text{ун}}^x = 53,17\%$). При развороте продуктов сгорания на 180° после первого хода в дымогарных трубах твердая фракция, преимущественно с размером частиц 125 мкм и более, сепарирует в зольник, откуда шнеком удаляется в сборную емкость. Пофракционный анализ показал, что наибольшее количество горючих веществ содержится в частицах размером 0,5 мм и более (рис. 4, а). Согласно анализу экспериментальных данных с учетом массового содержания разных фракций, определяющую долю в потере тепла с механической неполнотой сгорания играет унос недогоревших частиц торфа размером $0,25 \leq x < 2,0$ мм (рис. 4, б).

Более высокая (по сравнению с биотопливами) зольность (примерно в 20 раз, см. табл. 2) и высокая неоднородность гранулометрического состава кускового торфа (см. рис. 1), на которые рассчитан котел, не позволяют рекомендовать его для сжигания кускового торфа без внесения существенных изменений в систему сбора и удаления очаговых остатков с организацией системы защиты от их возгорания. Кроме того, переход от сжигания торфяных гранул на кусковой торф вызвал увеличение концентрации твердых частиц в удаляемых дымовых газах почти в 3 раза (табл. 2), что указывает на целесообразность установки золоуловителя.

Экспериментальные исследования показали, что конструкция котла позволяет обеспечивать достаточно эффективное сжигание прессованной ДШП и опилок с линии обрезки фанеры (табл. 3, опыты № 3, 4). Однако в

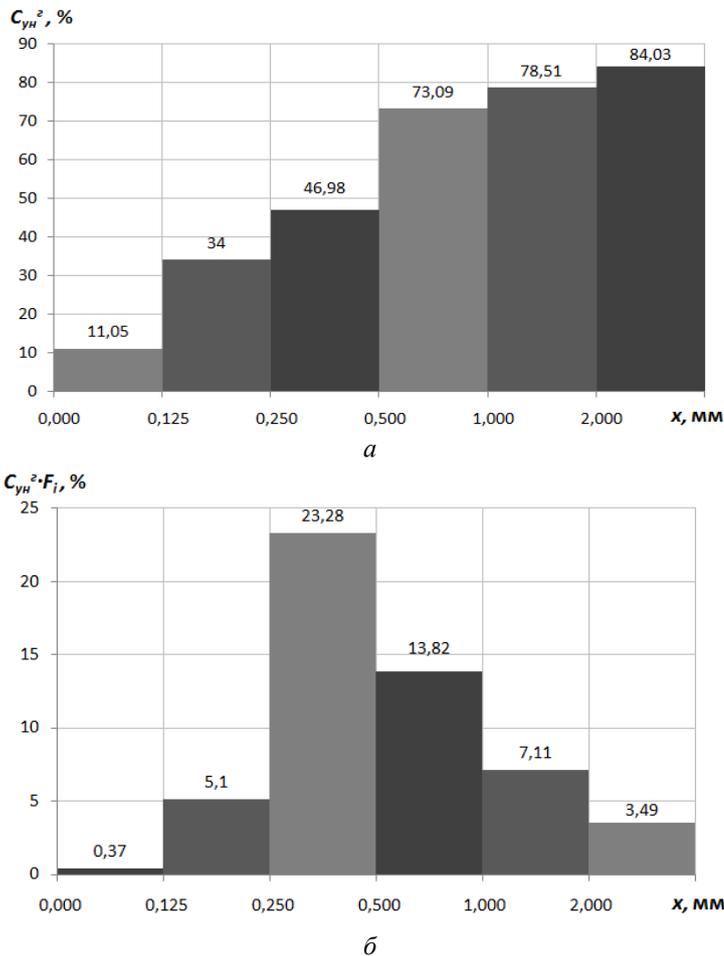


Рис. 4. Содержание горючих веществ в частицах, отсепарированных в зольник теплообменника при сжигании кускового торфа: *а* – содержание горючих веществ по фракциям; *б* – содержание горючих веществ с учетом массовых долей различных фракций

процессе подачи прессованного материала в горелку происходит его частичное разрушение, что увеличивает выбросы твердых частиц, включая сажевые, в атмосферу.

Для отечественных теплогенерирующих установок при выполнении поверочных и конструкторских расчетов, а также при проведении типовых испытаний потери тепла в окружающую среду для номинальной нагрузки определяют по обобщающим зависимостям [5]. Для импортных установок правомерность применения обобщающих зависимостей [5] должна быть подтверждена экспериментально. Поэтому для определения потерь тепла в окружающую

щую среду была разработана уточненная методика, базирующаяся на совмещении относительного и калориметрического методов, дополненных тепловизионной съемкой [3]. В ходе эксперимента было установлено, что потери тепла в окружающую среду при номинальной теплопроизводительности (60 кВт) водогрейного котла не превышают 0,5 %, что значительно меньше, чем указано в российских нормах [5]. Низкие потери определяются умеренными габаритными размерами котла и высоким качеством обмуровочных и теплоизоляционных материалов.

Потери с физической теплотой шлака при работе котла на древесных гранулах не превышали $q_6 = 0,01$ %, на коре сосны и ели – 0,06 %, на торфе – 0,30...0,31 %, на прессованных мелкодисперсных отходах фанерного производства (опилки от обрезки фанеры) – 0,02 %.

Результаты энергетического обследования работы котла на древесных гранулах показали (см. табл. 1, опыты № 1, 2), что он способен обеспечивать эффективную работу с нагрузкой значительно выше номинальной [2–4].

При проведении балансовых опытов КПД брутто водогрейного котла при работе на древесных гранулах изменялся в диапазоне 92,86...95,20 %, на коре сосны и ели – 92,14...93,15 %, на торфяных гранулах – 91,24...91,37 %, на кусковом торфе – 81,01...81,22 %, на прессованных мелкодисперсных отходах фанерного производства – 92,43...92,49 %.

Низкие значения концентраций оксидов азота (табл. 1–3) можно объяснить умеренным уровнем максимальных температур и избытком кислорода в топочной камере, а также применением двухступенчатой схемы сжигания топлива.

Диоксид серы в продуктах сгорания при сжигании биотоплив отсутствовал на всех режимах работы котла. При сжигании торфяных гранул и кускового торфа его концентрация не превышала 853 мг/нм^3 (при концентрации кислорода – 6,0 %).

Ступенчатая схема сжигания топлива и интенсивное перемешивание вторичного воздуха с горючими компонентами топлива позволяют обеспечить эффективную работу котла при малых концентрациях кислорода (4,0...6,0 %). Повышение концентрации кислорода более 6,0 % приводит к увеличению выбросов вредных веществ в окружающую среду. Исходя из этого пороговое значение концентрации кислорода в системе автоматического регулирования следует снизить до 4,0 %.

Результаты исследования выбросов сажевых частиц [4, 6, 8] с использованием метода внешней фильтрации при изокINETических условиях отбора газовых проб показывают, что коэффициент выбросов сажи на 1 ГДж теплоты древесных гранул составляет $5,954 \text{ г/ГДж}$ (при теплопроизводительности 104 кВт), коэффициент выбросов мелких сажевых частиц PM_{2,5} (при коэффициенте пересчета 0,14 [4, 6]) – $0,834 \text{ г/ГДж}$. Для сравнения, средний коэффициент выбросов сажи для водогрейных котлов Arimax Bio Energy номинальной мощностью 1,5 МВт, работающих на древесных гранулах и оборудо-

ванных инерционными золоуловителями, составляет 5,75 г/ГДж, коэффициент выбросов мелких частиц PM_{2,5} – 0,805 г/ГДж.

При сжигании коры сосны выбросы сажевых частиц увеличиваются до 9,324 г/ГДж, коэффициент выбросов мелких сажевых частиц PM_{2,5} – до 1,305 г/ГДж. Сжигание коры ели, имеющей более крупный гранулометрический состав (см. рис. 1), обеспечивается при более низких коэффициентах избытка воздуха, что значительно снижает выбросы сажевых частиц (2,494... ..2,533 г/ГДж). Среднее значение коэффициента выбросов мелких сажевых частиц PM_{2,5} – 0,352 г/ГДж.

При работе котла на торфяных гранулах средний коэффициент выбросов сажевых частиц составляет 2,477 г/ГДж, мелких частиц PM_{2,5} – 0,347 г/ГДж. Переход на сжигание кускового торфа сопровождается резким увеличением выбросов сажевых частиц до 17,254 г/ГДж, коэффициента выбросов частиц PM_{2,5} – до 2,416 г/ГДж. Среднее значение коэффициента выбросов сажевых частиц при сжигании прессованных отходов фанерного производства – 5,255 г/ГДж, мелких частиц PM_{2,5} – 0,946 г/ГДж.

Заключение

Проведенное комплексное энергетическое обследование показало, что водогрейный котел Firematic 60 обеспечивает высокие технико-экономические показатели и минимальные выбросы вредных веществ в окружающую среду при сжигании биотоплив и гранулированного торфа. Его следует использовать для теплоснабжения малоэтажных зданий в условиях Северо-Арктического региона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Любов В.К., Любова С.В.* Повышение эффективности энергетического использования биотоплив: учеб. пособие. Архангельск: Солти, 2010. 496 с.
2. *Любов В.К., Малыгин П.В., Попов А.Н., Попова Е.И.* Исследование эффективности работы водогрейного котла при сжигании биотоплив // Биотехнологии в химико-лесном комплексе: материалы междунар. науч. конф., Архангельск, 11–12 сент. 2014 г. Архангельск: САФУ, 2014. С. 201–205.
3. *Любов В.К., Малыгин П.В., Попов А.Н., Попова Е.И.* Определение потерь тепла в окружающую среду на основе комплексного исследования эффективности работы котлов // Теплоэнергетика. 2015. № 8. С. 36–40.
4. *Попова Е.И., Попов А.Н., Любов В.К., Варакин Е.А.* Сжигание твердых топлив в водогрейном котле Firematic 60 // Природопользование в Арктике: современное состояние и перспективы развития: сб. науч. тр. 1-й Междунар. науч.-практ. конф., Якутск, 22–25 сент. 2015 г. Якутск: СВФУ, 2015. С. 464–473.
5. Тепловой расчет котлов (нормативный метод). СПб.: НПО ЦКТИ, 1998. 256 с.
6. *Borchsenius H., Borgnes D.* Black Carbon Emissions from the District Heating Sector in the Barents Region // NORSK ENERGI. Ministry of Environment of Norway. Project Name: RUS-11/0060. Norway, 2013.

7. Flach B., Bendz K., Krautgartner R., Lieberz S. EU-27 Biofuels Annual Report // USDA Foreign Agricultural Service GAIN. 2013. Report No.: NL3034.

8. Petzold A., Ogren J.A., Fiebig M., Laj P., Li Sh., Baltensperger U., Holzer-Popp T., Kinne S., Pappalardo G., Sugimoto N., Wehrli C., Wiedensohler A., Zhang X. Recommendations for Reporting "Black Carbon" Measurements // Atmospheric Chemistry and Physics. 2013. Vol. 13. Pp. 8365–8379.

Поступила 21.10.16

UDC 662.6/9

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.149

Wood-Based Biofuel Efficiency in the Heat Producing Installation

V.K. Lyubov, Doctor of Engineering Sciences, Professor

A.N. Popov, Assistant

E.I. Popova, Assistant

P.V. Malygin, Assistant

L.M. Solnyshkova, Student

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: vk.lubov@mail.ru, wav1@inbox.ru, ev.popova@narfu.ru, peterpen13@rambler.ru, solnyshkva@yandex.ru

The north-west of Russia possesses huge amount of timber resources; and the issues of the most effective use of woody biomass are relevant for this region. Involving of wood biofuel in the fuel and energy balance can reduce the negative impact of energy facilities on the environment and preserve the potential of non-renewable fuels for future generations. The efficient way for comprehensive solution of the energy and environmental problems of heat load supplying of the domestic household sector is the use of modern solid biofuels and peat-fired units. The high-efficiency heating equipment is of great importance. The work objective is to study thermal and ecological characteristics of the hot water boiler Firematic 60 ("Herz Energietechnik GmbH", Austria) when wood pellets, bark, pressed wood-grinding dust, granulate and sod peat combustion. In the course of the experiments, we determine the components of the boiler's heat balance and gaseous emissions when solid fuels combustion, and study the particulate emissions and their content of soot particles. The boiler Firematic 60 provides high environmental and economic performance when biofuels and granulate peat combustion. It should be used in the heat supply systems of low-rise buildings in the North-Arctic region.

Keywords: hot-water boiler, wood fuel, hazardous substance, soot particles emission, furnace, burner, heat loss, efficiency factor, fuel thermotechnical and particle-size characteristics.

For citation: Lyubov V.K., Popov A.N., Popova E.I., Malygin P.V., Solnyshkova L.M. Wood-Based Biofuel Efficiency in the Heat Producing Installation. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 4, pp. 149–161. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.149

REFERENCES

1. Lyubov V.K., Lyubova S.V. *Povyshenie effektivnosti energeticheskogo ispol'zovaniya biotopliv* [Improvement of Effectiveness of the Biofuels Energy Use]. Arkhangelsk, 2010. 496 p.
2. Lyubov V.K., Malygin P.V., Popov A.N., Popova E.I. Issledovanie effektivnosti raboty vodogreynogo kotla pri szhiganii biotopliv [Biofuel Combustion Efficiency of the Hot-Water Boiler]. *Biotehnologii v khimiko-lesnom komplekse: materialy mezhdunar. nauch. konf., Arkhangel'sk, 11–12 sent. 2014 g.* [Biotechnology in the Chemical and Forest Complex: Proc. Intern. Sci. Conf., Arkhangelsk, 11–12 September 2014]. Arkhangelsk, 2014, pp. 201–205.
3. Lyubov V.K., Malygin P.V., Popov A.N., Popova E.I. Opredelenie poter' tepla v okruzhayushchuyu sredu na osnove kompleksnogo issledovaniya effektivnosti raboty kotlov [Determining Heat Loss Into the Environment Based on Comprehensive Investigation of Boiler Performance Characteristics]. *Teploenergetika* [Thermal Engineering], 2015, vol. 62, no. 8, pp. 36–40.
4. Popova E.I., Popov A.N., Lyubov V.K., Varakin E.A. Szhiganie tverdykh topliv v vodogreynom kotle Firematic 60 [Solid Fuels Combustion in the Boiler Firematic 60]. *Prirodopol'zovanie v Arktike: sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya: sb. nauch. tr. 1-y Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., Yakutsk, 22–25 sent. 2015 g.* [Nature Management in the Arctic: the State of the Art and Development Prospects: Proc. 1st Intern. Sci. Pract. Conf., Yakutsk, 22–25 September 2015]. Yakutsk, 2015, pp. 464–473.
5. *Teplovoy raschet kotlov (normativnyy metod)* [Thermal Calculation of Boilers (Normative Method)]. Saint Petersburg, 1998. 256 p.
6. Borchsenius H., Borgnes D. Black Carbon Emissions from the District Heating Sector in the Barents Region. *NORSK ENERGI. Ministry of Environment of Norway. Project Name: RUS-11/0060*. Norway, 2013.
7. Flach B., Bendz K., Krautgartner R., Lieberz S. EU-27 Biofuels Annual Report. *USDA Foreign Agricultural Service GAIN; 2013. Report No.: NL3034*.
8. Petzold A., Ogren J.A., Fiebig M., Laj P., Li Sh., Baltensperger U., Holzer-Popp T., Kinne S., Pappalardo G., Sugimoto N., Wehrli C., Wiedensohler A., Zhang X. Recommendations for Reporting "Black Carbon" Measurements. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2013, vol. 13, pp. 8365–8379.

Received on October 21, 2016



ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 661.183.2

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.162

ПОЛУЧЕНИЕ АКТИВНЫХ УГЛЕЙ ПИРОЛИЗОМ ГИДРОЛИЗНОГО ЛИГНИНА

К.А. Романенко¹, асп.

Н.И. Богданович¹, д-р техн. наук, проф.

А.В. Канарский², д-р техн. наук, проф.

¹Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: k.romanenko@narfu.ru, n.bogdanovich@narfu.ru

²Казанский национальный исследовательский институт, ул. Карла Маркса, д. 68, г. Казань, Россия, 420015; e-mail: alb46@mail.ru

Активное развитие промышленности привело к крупнотоннажному накоплению твердых отходов, которое стало серьезным фактором загрязнения окружающей среды. В связи с этим перед человечеством встает очень важная проблема утилизации таких отходов и связанная с ней задача рационального расходования сырья. Управление процессами образования, накопления и переработки отходов – важнейшее звено в обеспечении экологической безопасности, влияющей на экономическое и социальное развитие всех регионов. Накопление отходов оказывает существенное влияние на состояние природных комплексов, здоровье населения. В ряде случаев оно является одним из основных признаков возможного отнесения территорий к зонам с чрезвычайной экологической ситуацией. Невысоким коэффициентом использования сырья отличаются отрасли химической переработки древесины (лесохимическая и целлюлозно-бумажная), поэтому их относят к наиболее агрессивным нарушителям экологического равновесия. Одним из наиболее распространенных промышленных древесных отходов является гидролизный лигнин. Несмотря на пригодность для переработки в полезные продукты, он практически полностью вывозится в отвалы. Имея высокую кислотность, гидролизный лигнин стоек к контаминации, что затрудняет его естественное разложение. При этом он закисляет почву, поверхностные и подземные воды, загрязняет воздушный бассейн. На свалках гидролизных предприятий находится свыше 2 млн т лигнина. Несмотря на множество предложенных решений по переработке гидролизного лигнина все они не нашли широкого промышленного применения. Наиболее распространенным на данный момент методом утилизации является его сжигание в топках котельных, что нельзя считать рациональным. С учетом акту-

Для цитирования: Романенко К.А., Богданович Н.И., Канарский А.В. Получение активных углей пиролизом гидролизного лигнина // Лесн. журн. 2017. № 4. С. 162–171. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.162

альности утилизации вторичных ресурсов химической переработки древесины сформулирована цель данной работы – получение углеродных адсорбентов из гидролизного лигнина. В качестве метода активации был выбран термохимический с использованием гидроксида калия. В ходе эксперимента было изучено влияние технологических параметров на выход и свойства полученного активного угля.

Ключевые слова: накопление отходов, переработка древесины, утилизация отходов, гидролизный лигнин, активный уголь, пиролиз.

Введение

Россия, как ни одна другая страна, обладает богатейшей сырьевой базой для производства адсорбционных материалов, что делает возможным получение широкого ассортимента активных углей различного назначения с оптимальной потребительской стоимостью, т. е. с сочетанием цены и качества. Следует отметить, что в условиях постоянного увеличения загрязнения окружающей среды, быстро растет и потребление различных фильтрующих веществ. Наиболее распространены и эффективны фильтры на основе активных углей.

В производстве различных марок активного угля один из определяющих факторов – исходное сырье и условия его активации. Сырьем для получения активного угля служат древесина и отходы ее переработки, торф, торфяной кокс, некоторые каменные и бурые угли, а также отходы гидролизной промышленности, в частности гидролизный лигнин, который является вторичным ресурсом химической переработки древесины и однолетних растений [1, 2, 4, 6, 11, 12].

В настоящее время наблюдается тенденция использования методов термохимической активации сырья, поскольку они позволяют получать адсорбенты с заданными адсорбционными свойствами и параметрами пористой структуры [9, 10].

Определяющие факторы при синтезе активных углей (АУ) с использованием методов термохимической активации – выбор и дозировка активирующего агента, а также температура процесса. В качестве активирующего агента предлагают использовать ортофосфорную кислоту, гидроксиды щелочных металлов, карбонаты щелочных и щелочноземельных металлов, оксид кальция, хлориды [8, 13].

Цель данной работы – изучение свойств активных углей, полученных пиролизом гидролизного лигнина с гидроксидом калия (КОН).

Задачи, которые должны быть решены для достижения цели:

определение влияния температур предпиролиза и пиролиза на формирование адсорбционных свойств и пористой структуры адсорбентов;

определение влияния расхода активирующего агента (КОН) на формирование адсорбционных свойств и пористой структуры адсорбентов.

Материалы и методы исследования

Для анализа влияния параметров синтеза активных углей из гидролизованного лигнина использован метод математического моделирования – центральный композиционный ротатабельный униформ (план второго порядка для трех факторов) [5]. Наиболее значимые переменные факторы синтеза активных углей: температуры предпиролиза ($T_{ПП}$) и термохимической активации ($T_{ТХА}$), расход (D) активирующего агента – КОН. Значения и интервалы варьирования факторов представлены в табл. 1.

Таблица 1
Уровни и интервалы варьирования факторов термохимической обработки гидролизованного лигнина в присутствии КОН

Переменные факторы	Характеристики плана					
	Шаг варьирования λ	Уровень факторов				
		-1,682 ($-\alpha$)	-1	0	1	1,682 ($+\alpha$)
Температура предпиролиза, °С	30	350	370	400	430	450
Температура термохимической активации, °С	45	600	630	675	720	750
Расход КОН на 1 г угля, г/г	0,24	1,00	1,16	1,40	1,64	1,80

На первом этапе проводили предпиролиз гидролизованного лигнина, в результате которого формировалась первичная пористая структура угля-сырца, на следующем – пиролиз (активацию) угля-сырца.

Адсорбционные свойства активных углей оценивали по адсорбции иода (I_2) и метиленового голубого (МГ) из стандартных водных растворов [3].

Важными характеристиками адсорбентов, керамики, нанотрубок, а также других наноструктурированных пористых и высокодисперсных материалов являются удельная поверхность, размер и объем пор.

Удельная поверхность служит одной из мер силы взаимодействия твердого тела с окружающей средой (газ, жидкость или другое твердое тело). Поэтому этот показатель один из самых распространенных для характеристики развитой пористой структуры наноматериалов. Определение удельной поверхности основано на измерении количества газа-адсорбата, который адсорбируется на поверхности исследуемого адсорбента при различных относительных парциальных давлениях P/P_0 в условиях кипения жидкого азота (температура кипения $t = 77$ К).

Для практической реализации данной методики наиболее широко применяются адсорбционные волюметрические анализаторы, основанные на методе низкотемпературной адсорбции азота.

В настоящей работе исследование пористой структуры полученных адсорбентов проводили на анализаторе удельной поверхности ASAP 2020 MP. В качестве газа-адсорбата использовали азот.

По полученным данным были построены изотермы адсорбции, которые использовали для определения удельной поверхности и пористой структуры синтезированных углеродных адсорбентов. Удельную поверхность ($S_{уд}$, м²/г) рассчитывали по уравнению полимолекулярной адсорбции [7]:

$$S_{уд} = \frac{1}{a(P_0/P)-1} = \frac{1}{a_m C} + \frac{C-1}{a_m C} (P/P_0),$$

где a – адсорбция, моль/г;

a_m – удельная емкость монослоя, нсм³/г;

C – константа ВЕТ, характеризующая взаимодействие адсорбент–адсорбат.

Результаты исследования и их обсуждение

По экспериментальным данным были построены поверхности отклика, показывающие влияние параметров двухстадийной термохимической обработки гидролизного лигнина на адсорбционные свойства АУ (рис. 1).

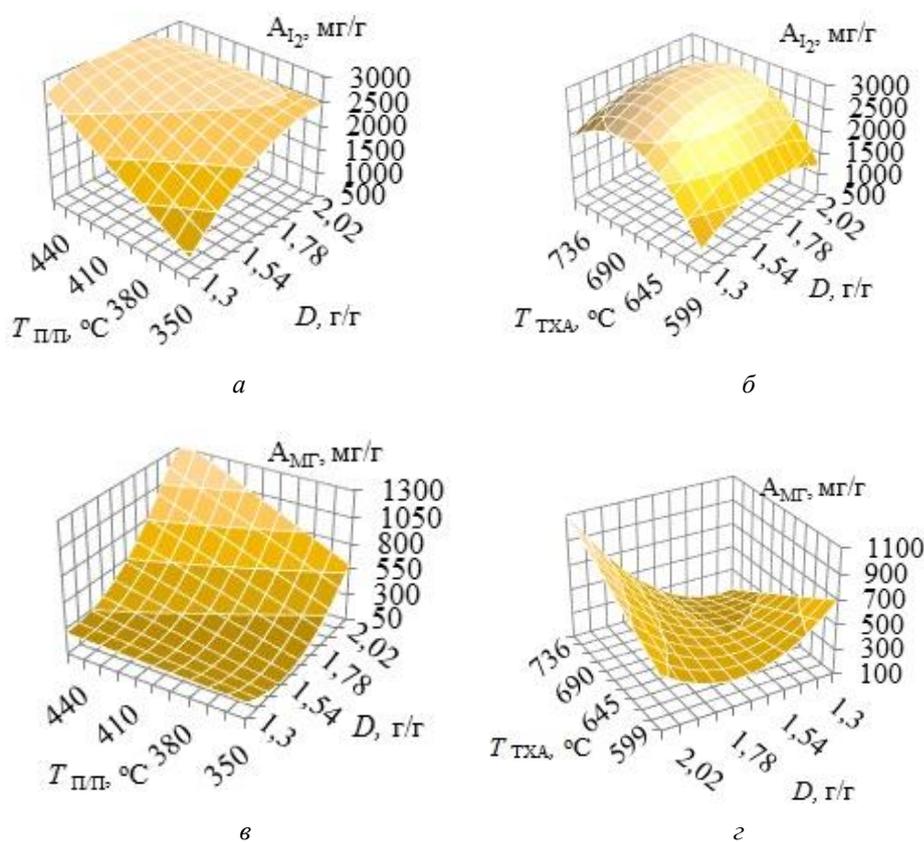


Рис. 1. Влияние температуры термохимической обработки гидролизного лигнина и расхода КОН на адсорбционные свойства АУ по иоду (а, б) и МГ (в, г)

Адсорбция по иоду A_{I_2} (рис.1, а, б) характеризует преимущественно развитие микропористой структуры АУ. Как видно из представленных графических зависимостей, повышение температуры термохимической обработки лигнина оказывает положительное влияние на адсорбционную активность АУ по I_2 . При увеличении дозировки КОН усиливается влияние температуры термохимической обработки на адсорбционную активность АУ по I_2 .

Следовательно, при повышении температуры термохимической активации в рассматриваемых интервалах варьирования и в присутствии КОН адсорбционные свойства синтезируемых адсорбентов улучшаются.

Адсорбция метиленового голубого A_{MG} (рис. 1, в, г) дает представление об удельной поверхности АУ, образованной порами с полушириной более 1,5 нм.

Температуры предпиролиза и пиролиза взаимосвязаны между собой, и наилучшие адсорбционные свойства в отношении МГ формируются при максимальных значениях температурных факторов в данных интервалах варьирования. Увеличение дозировки КОН оказывает положительное влияние на этот выходной параметр.

Следует отметить, что наибольшие значения адсорбции по МГ достигаются в тех же условиях температурной обработки, что и по I_2 . Следовательно, такие условия следует признать оптимальными при синтезе АУ.

Таблица 2

Объем пор и удельная поверхность образцов АУ из термохимически обработанного в присутствии КОН гидролизного лигнина

Образец	Объем пор, см ³ /г			Удельная поверхность образцов, м ² /г, по Brunauer–Emmett–Teller
	Микропоры по Dubinin–Radushkevich	Мезопоры по ВНДес, Broekhoff–deBoer	Сумма по Brunauer–Emmett–Teller	
Л-1	0,28	0,03	0,31	553
Л-2	0,47	0,02	0,51	903
Л-3	0,32	0,04	0,37	612
Л-4	0,41	0,02	0,43	755
Л-5	0,29	0,02	0,32	563
Л-6	0,41	0,13	0,56	809
Л-7	0,37	0,04	0,42	717
Л-8	0,70	0,03	0,81	1446
Л-9	0,29	0,06	0,36	600
Л-10	0,57	0,03	0,62	1147
Л-11	0,44	0,03	0,49	885
Л-12	0,49	0,03	0,54	941
Л-13	0,35	0,03	0,38	731
Л-14	0,77	0,10	1,07	2024
Л-15	0,35	0,02	0,39	685
Л-16	0,39	0,04	0,44	775
Л-17	0,43	0,04	0,49	868
Л-18	0,42	0,03	0,47	816
Л-19	0,43	0,03	0,57	831
Л-20	0,55	0,03	0,60	795

Характеристика АУ по адсорбционным свойствам не дает полного представления о формировании его структуры, однако показывает, что выбор активирующего агента играет ключевую роль в образовании пористой структуры углеродных адсорбентов, поскольку позволяет существенно варьировать их свойства.

Существует много типов пористых систем. При этом как в различных образцах, так и в одном и том же образце пористого тела отдельные поры могут значительно различаться по форме и размеру. В табл. 2 приведены результаты исследования пористой структуры полученных экспериментальных образцов АУ.

Анализ пористой структуры АУ показал, что она представлена в основном микропорами. Средняя полуширина микропор изменяется в интервале от 1,11 до 1,16 нм. По классификации IUPAC этот интервал относится к области супермикропор, которые представляют собой промежуточное состояние пористости тел между микро- и мезопорами.

По экспериментальным данным рассчитаны уравнения регрессии, использованные для построения графических зависимостей – поверхностей отклика (рис. 2), показывающих характер связи выходных и технологических параметров получения АУ.

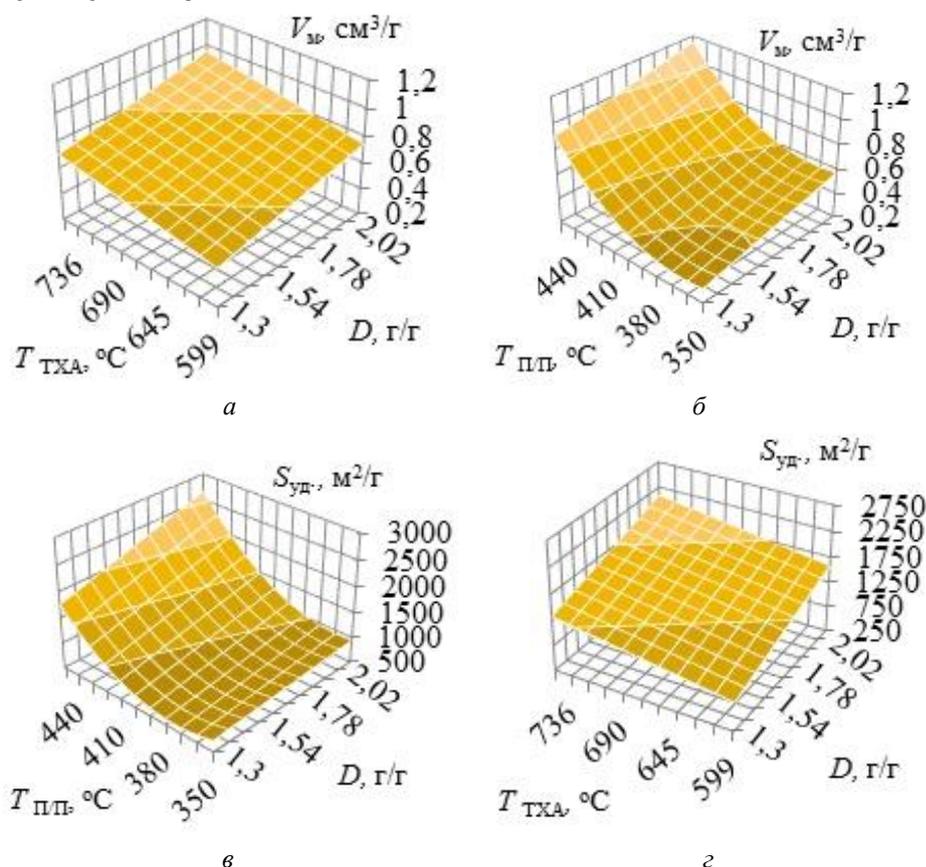


Рис. 2. Влияние температуры термохимической обработки гидролизного лигнина и расхода КОН на объем ($V_{\text{м}}$) микропор (а, б) и удельную поверхность ($S_{\text{уд}}$) АУ (в, г)

Как видно из результатов, представленных на рис. 2, увеличение дозировки КОН и температуры термохимической обработки гидролизного лигнина положительно сказывается на формировании микропор. Наблюдается взаимное положительное влияние факторов на данный выходной параметр при повышении температуры предпиролиза. Однако увеличение температуры активации целесообразно только при высоких дозировках КОН.

Известно, что АУ с высоким объемом микропор характеризуются наиболее развитой удельной поверхностью. Микропоры имеют высокое отношение удельной поверхности к объему и, следовательно, вносят наибольший вклад в значение удельной поверхности АУ. Размер микропор сопоставим с размером молекул и играет важную роль в селективности адсорбции, так как ограничивает диффузию и обеспечивает эффект молекулярного сита.

Изучение удельной поверхности образцов АУ показало, что расход КОН, а также температура термохимической обработки гидролизного лигнина положительно влияют на формирование удельной поверхности синтезируемых АУ (рис. 2).

Заключение

Следует отметить, что характер изменения как адсорбционных, так и структурных свойств образцов АУ, представленных в виде поверхностей отклика, указывает на одинаковый характер зависимости от условий термохимической деструкции гидролизного лигнина (рис. 1, 2). При повышении температуры термохимической обработки гидролизного лигнина, а также увеличении расхода активирующего агента улучшаются и адсорбционные, и структурные свойства АУ.

Таким образом, повышение температуры термохимической активации до 750 °С и увеличение расхода КОН до 2,1 г/г при синтезе АУ из гидролизного лигнина оказывают положительное влияние на формирование адсорбционных и структурных свойств АУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белецкая М.Г., Богданович Н.И. Формирование адсорбционных свойств нанопористых материалов методом термохимической активации // Химия растительного сырья. 2013. № 3. С. 77–82.
2. Белецкая М.Г., Богданович Н.И., Кузнецова Л.Н., Саврасова Ю.А. Методы термохимической активации в синтезе активных углей из технических лигнинов // Лесн. журн. 2011. № 6. С. 144–148. (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Белецкая М.Г., Богданович Н.И., Романенко К.А. Синтез активных углей из гидролизного лигнина с использованием гидроксидов Na и K // Евразийский союз ученых. 2014. № 7-1(7). С. 19–21.
4. Богданович Н.И. Пиролиз технических лигнинов // Лесн. журн. 1998. № 2-3. С. 120–132. (Изв. высш. учеб. заведений).
5. Богданович Н.И., Кузнецова Л.Н., Третьяков С.И., Жабин В.И. Планирование эксперимента в примерах и расчетах: учеб. пособие. Архангельск: АГТУ, 2010. С. 46–60.

6. Бубнова А.И., Романенко К.А., Богданович Н.И. Формирование адсорбционных и структурных свойств углеродных адсорбентов пиролизом древесных отходов в присутствии NaOH // Тенденции развития техники и технологий-2015: сб. ст. междунар. науч.-техн. конф., 17–19 февр. 2015 г. Тверь: НДМ, 2015. С. 25–29.

7. Вячеславов А.С., Ефремова М. Определение площади поверхности и пористости материалов методом сорбции газов. М.: МГУ, 2011. 65 с.

8. Калиничева О.А., Богданович Н.И., Добеле Г.В. Предпиролиз древесного сырья в синтезе активных углей с NaOH // Лесн. журн. 2008. № 2. С. 117–122. (Изв. высш. учеб. заведений).

9. Bansal R.C., Goyal M. Activated Carbon Adsorption. USA, New York, 2005. 520 p.

10. Gorka J., Zawislak A., Choma J., Jaronies M. KOH Activation of Mesoporous Carbons Obtained by Soft-Templating // Carbon. 2008. Vol. 46, no. 8. Pp. 1159–1161.

11. Hayashi J., Kazehaya A., Muroyama K., Watkinson A.P. Preparation of Activated Carbon from Lignin by Chemical Activation // Carbon. 2000. Vol. 38, no. 13. Pp. 1873–1878.

12. Ji Y., Li T., Zhu L., Wang X., Lin Q. Preparation of Activated Carbon by Microwave Heating KOH Activation // Applied Surface Science. 2007. Vol. 254, no. 2. Pp. 506–512.

13. Srivastava S.K., Saran T., Sinha J., Ramachandran L.V., Rao S.K. Hydrogen Production from Coal-Alkali Interaction // Fuel. 1988. Vol. 67, no. 12. Pp. 1680–1682.

Поступила 30.01.17

UDC 661.183.2

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.162

Obtaining of Activated Carbons by Pyrolysis of Hidrolytic Lignin

K.A. Romanenko¹, Postgraduate Student

N.I. Bogdanovich¹, Doctor of Engineering Sciences, Professor

A.V. Kanarskiy², Doctor of Engineering Sciences, Professor

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

e-mail: k.romanenko@narfu.ru, n.bogdanovich@narfu.ru

²Kazan National Research Technological University, ul. Karla Marksa, 68, Kazan, 420015, Russian Federation; e-mail: alb46@mail.ru

The active industrial development has led to a large-scale accumulation of solid wastes, which has become a serious factor of environmental pollution. In this regard, humanity faces a very important problem of utilization of these wastes and the associated task of rational consumption of raw materials. Management of the processes of formation, accumulation and processing of waste is the most important link in ensuring environmental safety that affects

For citation: Romanenko K.A., Bogdanovich N.I., Kanarskiy A.V. Obtaining of Activated Carbons by Pyrolysis of Hidrolytic Lignin. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 4, pp. 162–171. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.162

the economic and social development of all regions. The accumulation of waste has a significant impact on the state of natural complexes, public health. Sometimes, this fact is the main feature of territories to be considered as environmental emergency zones. The branches of chemical added-value wood processing (wood chemical and pulp and paper industries) differ by a low coefficient of the use of raw material; so they are classified as the most aggressive environmental offending enterprises. As a result of the long-term activity of such facilities, environmental pollution has recently acquired the character of a biosphere process, has become an urgent problem. One of the most common industrial wood wastes is hydrolyzed lignin. Despite its suitability for processing into useful products, it is almost completely exported into disposal areas. Hydrolytic lignin, having high acidity, is resistant to contamination, which makes its natural decomposition difficult. At the same time, it acidifies the soil, surface and groundwater, and pollutes the air basin. Over 2 million tons of lignin are located in the dumps of hydrolysis enterprises. Many proposed solutions for the hydrolytic lignin processing have not found wide industrial application. The most common method of its utilization is irrational combustion in boiler furnaces. Taking into account the urgency of utilization of secondary resources of chemical added-value wood processing, we formulate the work objective as the obtaining of carbon adsorbents from hydrolytic lignin. We have chosen a thermochemical activation method with the use of potassium hydroxide. In the course of the experiment, we have studied the influence of technological parameters on the yield and properties of the obtained activated carbon.

Keywords: accumulation of waste, added-value wood processing, waste reclamation, hydrolytic lignin, activated carbon, pyrolysis.

REFERENCES

1. Beletskaya M.G., Bogdanovich N.I. Formirovanie adsorbtsionnykh svoystv nanoporistykh materialov metodom termokhimicheskoy aktivatsii [The Formation of Adsorption Properties of Nanoporous Materials by Thermochemical Activation]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of Plant Raw Material], 2013, no. 3, pp. 77–82.
2. Beletskaya M.G., Bogdanovich N.I., Kuznetsova L.N., Savrasova Yu.A. Metody termokhimicheskoy aktivatsii v sinteze aktivnykh ugley ikh tekhnicheskikh ligninov [Methods Thermochemical Activation in the Synthesis of Activated Carbons of Technical Lignin]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2011, no. 6, pp. 144–148.
3. Beletskaya M.G., Bogdanovich N.I., Romanenko K.A. Sintez aktivnykh ugley iz gidroliznogo lignina s ispol'zovaniem gidroksidov Na i K [Synthesis of Activated Carbons from Hydrolytic Lignin Using Na and K Hydroxides]. *Evraziyskiy soyuz uchenykh* [Eurasian Union of Scientists], 2014, no. 7-1(7), pp. 19–21.
4. Bogdanovich N.I. Piroliz tekhnicheskikh ligninov [Pyrolysis of Technical Lignins]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 1998, no. 2-3, pp. 120–132.
5. Bogdanovich N.I., Kuznetsova L.N., Tret'yakov S.I., Zhabin V.I. *Planirovanie eksperimenta v primerakh i raschetakh: ucheb. posobie* [Design of Experiment in Examples and Calculations]. Arkhangelsk, 2010, pp. 46–60.
6. Bubnova A.I., Romanenko K.A., Bogdanovich N.I. Formirovanie adsorbtsionnykh i strukturnykh svoystv uglerodnykh adsorbentov pirolizom drevesnykh otkhodov v prisutstvii NaOH [Formation of Adsorption and Structural Properties of Carbon Adsorbents by Pyrolysis of Wood Waste in the Presence of NaOH]. *Tendentsii razvitiya tekhniki i tekhnologiy – 2015: sb. st. mezhdunar. nauch.-tekhn. konf., 17–19 fevr. 2015 g.* [Develop-

ment Trends of Engineering and Technologies – 2015: Proc. Intern. Sci. Eng. Conf., 17–19 February 2015]. Tver, 2015, pp. 25–29.

7. Vyacheslavov A.S., Efremova M. *Opredelenie ploshchadi poverkhnosti i poristosti materialov metodom sorbtsii gazov* [Determination of the Surface Area and Media Porosity by the Gas Trapping Method]. Moscow, 2011. 65 p.

8. Kalinicheva O.A., Bogdanovich N.I., Dobelev G.V. Predpiroliz drevesnogo syr'ya v sinteze aktivnykh ugley s NaOH [Pre-pyrolysis of Wooden Raw Material in Synthesis of Active Coals with NaOH]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2008, no. 2, pp. 117–122.

9. Bansal R.C., Goyal M. *Activated Carbon Adsorption*. USA, New York, 2005. 520 p.

10. Gorak J., Zawislak A., Choma J., Jaronies M. KOH Activation of Mesoporous Carbons Obtained by Soft-Templating. *Carbon*, 2008, vol. 46, no. 8, pp. 1159–1161.

11. Hayashi J., Kazahaya A., Muroyama K., Watkinson A.P. Preparation of Activated Carbon from Lignin by Chemical Activation. *Carbon*, 2000, vol. 38, no. 13, pp. 1873–1878.

12. Ji Y., Li T., Zhu L., Wang X., Lin Q. Preparation of Activated Carbon by Microwave Heating KOH Activation. *Applied Surface Science*, 2007, vol. 254, no. 2, pp. 506–512.

13. Srivastava S.K., Saran T., Sinha J., Ramachandran L.V., Rao S.K. Hydrogen Production from Coal-Alkali Interaction. *Fuel*, 1988, vol. 67, no. 12, pp. 1680–1682.

Received on January 30, 2017

УДК 676.017.27

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.172

ОЦЕНКА РАВНОМЕРНОСТИ ФОРМОВАНИЯ МАКРОСТРУКТУРЫ ОФИСНОЙ БУМАГИ

В.В. Абрамова¹, соискатель

А.В. Гурьев², канд. техн. наук, доц.

¹ООО «Сухонский картонно-бумажный комбинат», пл. Печаткина, д. 4, г. Сокол, Вологодская обл., Россия, 162135; e-mail: vabramova@ukobf.com

²Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: a.guriev@narfu.ru

Проблема качественной и количественной оценки равномерности формирования макро- и микроструктуры целлюлозных материалов до настоящего времени находится в стадии решения как с позиций теоретического обоснования и описания, так и в прикладном (производственном) аспекте. Одним из основных направлений исследования взаимосвязей между равномерностью структуры и потребительскими свойствами бумаги становится использование принципов и подходов, объединяющих в себе современные достижения технологии бумаги, вычислительные методы и информационные технологии. Результаты подобных мультидисциплинарных исследований способствуют разработке и внедрению в практическую деятельность доступных и экономичных методов контроля, анализа и совершенствования равномерности формирования бумаги. Цель данной работы – апробация разработанного программного обеспечения RareForming для визуализации и анализа однородности распределения компонентов в объеме листа. В качестве объектов исследования была выбрана наиболее массовая офисная бумага потребительского формата А4. Очевидно, что равномерность формирования структуры такой бумаги является одним из главных параметров, определяющих устойчивую эксплуатацию современной высокопроизводительной офисной техники (принтеров, копировальных аппаратов, сканеров, многофункциональных устройств). Результаты исследования подтверждают необходимость отдельного контроля и регулирования ее потребительских свойств с учетом реальных технологических условий.

Ключевые слова: офисная бумага, макроструктура, формирование, визуализация однородности формирования, программное обеспечение, контроль потребительских свойств бумаги.

Введение

Существует большое количество общенаучных (математических, физических, химических и др.) и специальных методов исследования структуры бумаги как на микро-, так и на макроуровне. В частности, используется разработка физических моделей на основе сочетания упругих, вязких и пластичных элементов, геометрических моделей, представления структуры в виде трехмерной сетки волокон с учетом их ориентации, хлопьеобразования, распреде-

Для цитирования: Абрамова В.В., Гурьев А.В. Оценка равномерности формирования макроструктуры офисной бумаги // Лесн. журн. 2017. № 4. С. 172–186. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.172

ления в плоскости и по толщине листа. При этом принимают различные допущения, границы которых лимитируют возможности применения моделей и математических зависимостей на практике.

Большинство исследователей сходятся во мнении, что развитие теории структуры и прочности бумаги должно базироваться на использовании прямых визуальных методов анализа и физических измерений при близком геометрическом подобии идеальных волокон модели и реальных волокон в бумажном полотне. По мнению многих авторов [6, 9, 11, 13, 16–18, 22–30], только таким образом может быть установлена прямая причинная зависимость свойств и отдельных характеристик бумаги от ее структурных параметров.

Для исследований микро- и макроструктуры листовых материалов (полимеров, композитов, бумаги) используют гравиметрию [3, 16, 17, 28], рентгенографию [14, 15, 20, 21], электронографию [10], инфракрасную спектроскопию [22, 24], электронную [9] и оптическую [1, 14, 15, 19, 29] микроскопию, ядерный магнитный резонанс [2–5, 7, 8, 14, 19], двойное лучепреломление [3, 4], акустические [6, 8, 11, 29], диэлектрические [3] измерения и др. Выбор метода исследования обусловлен поставленными целями и задачами, т. е. сформулированной и проверяемой гипотезой. Для надежности проверки гипотезы рекомендуется использовать альтернативные инструментальные методы.

Результаты исследований равномерности формирования макроструктуры бумаги, полученные авторами с помощью метода оптического сканирования и анализа изображений в 2-D проекции, показали недостаточно полную возможность качественного сопоставления значений индекса формования (просвета). Прежде всего, это относится к объемной визуализации объектов исследований – промышленных видов бумаги, требующих оптимизации формования. Для практического использования нами предложен дополнительный измерительно-методический инструмент, позволяющий оперативно и качественно анализировать результаты технологического регулирования равномерности формования бумаги, а также программное обеспечение PaperForming для 3-D визуализации и компьютерного анализа данных. Программа PaperForming защищена Свидетельством о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013619551 [12].

Усовершенствованный метод, не уступая другим по продолжительности анализа и чувствительности к изменению равномерности структуры целлюлозных материалов в широком диапазоне, является более конкурентоспособным по затратам.

Недостаточная равномерность просвета офисной бумаги, как правило, приводит к снижению качества струйной и лазерной печати, воспроизводимости копий; нестабильности прохождения бумаги через офисные устройства; приостановке и необходимости перезагрузки процессов; ускорению износа проводящих систем оргтехники и др.

Целью данной работы является апробация усовершенствованной методики и программного обеспечения PaperForming для оценки равномерности распределения компонентов макроструктуры в объеме бумажного листа.

Объекты и методы исследования

В качестве объектов исследования было предложено использовать три группы образцов:

первая – пять видов (торговых марок различных предприятий) офисной бумаги, отобранных в розничной сети;

вторая – четыре разновидности марок (сортов) офисной бумаги одного вида, произведенных на двух бумагоделательных машинах (БДМ) одного предприятия;

третья – пять разновидностей одного вида офисной бумаги, выпущенных на одной БДМ другого российского предприятия.

Для всех перечисленных образцов определены индекс формования (I_{Φ}), индекс просвета (I_{Π}) и другие характеристики оптической неоднородности, выполнена их обработка и компьютерная визуализация в 2-D и 3-D проекциях с использованием разработанного программного обеспечения PaperForming.

Индекс формования является основным количественным показателем оптической неоднородности структуры бумаги, измеряемой с помощью анализатора формования PTA-Line Formation Tester, который рассчитывается как интегральная характеристика совокупности флокулов по шести классам размеров: 1, 2, 3, 6, 10, и 16 мм.

Индекс просвета представляет собой совокупный комплексный параметр распределения яркости образца в проходящем свете относительно среднего значения, рассчитываемый по гистограмме распределения тоновых уровней яркости в проходящем свете как отношение высоты гистограммы к ее ширине.

Между значениями I_{Φ} и I_{Π} существует обратная линейная корреляционная зависимость, поскольку первичные результаты измерений для их расчета базируются на одном физическом принципе – оптическом сканировании материала в проходящем свете в видимой спектральной области.

Кроме того, у исследуемых образцов определяли толщину (δ , мкм), плотность (ρ , г/см³), зольность (Z , %), а также отдельные показатели физико-механических свойств, преимущественно отражающие прочность и деформационное поведение бумаги при растяжении: разрывную длину (L , м); сопротивление излому (I , ч.д.п.); трещиностойкость (FT , Дж/м); разрушающее напряжение (σ_p , МПа); деформацию разрушения (ϵ_p , %); удельную энергию адсорбции (TEA , Дж/м²); работу разрушения (A_p , мДж); начальный модуль упругости (E_1 , МПа); жесткость при растяжении (S_t , кН/м).

Именно растягивающие нагрузки испытывает бумага потребительских форматов при прохождении через проводящие системы оргтехники.

Схема укрупненного алгоритма обработки исходной измерительной информации оптического сканирования при реализации процедуры визуализации приведена рис. 1.

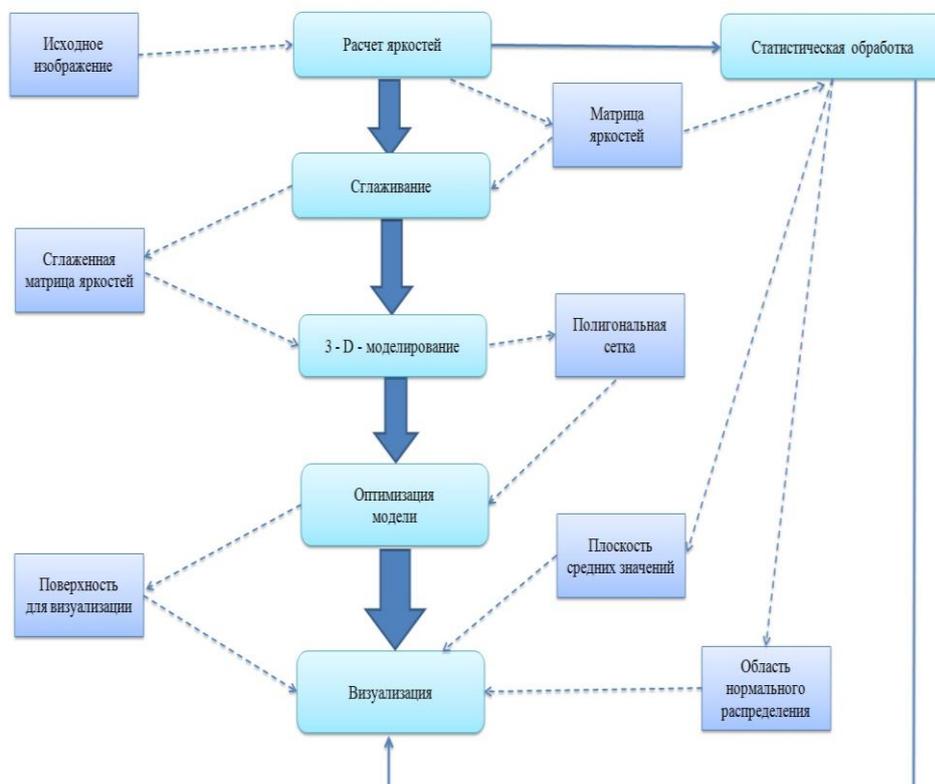


Рис. 1. Блок-схема алгоритма обработки данных для визуализации изображения на основе оптического сканирования структуры бумаги (обрабатываемые данные заключены в прямоугольники, процедуры обработки – в эллипсовидные блоки; поток управления, определяющий порядок вычислительных действий, показан сплошными стрелками, потоки данных – пунктирными)

Для визуального анализа выбросов яркости в пространство моделирования вводятся дополнительные объекты: плоскость средних значений и область нормального распределения, которая строится как параллелепипед, центрированный по среднему значению яркости и имеющий высоту $\pm 2\sigma$ (среднеквадратических отклонений яркости).

При регулировании технологических параметров, направленных на повышение равномерности структуры бумаги, применение метода объемного моделирования позволяет наглядно отслеживать и фиксировать достигаемый эффект, а также формировать соответствующую базу данных 3-D изображений материала.

Результаты исследования и их обсуждение

Средние значения и стандартные отклонения индекса формирования групп образцов офисной бумаги представлены на рис. 2. Для образцов второй и третьей групп на графиках также показаны границы размаха данных в вы-

борках (красные линии на рис. 2 б, в). В соответствие с использованным методом оценки оптической неоднородности структуры бумаги, равномерность формирования тем выше, чем ниже значение I_{ϕ} .

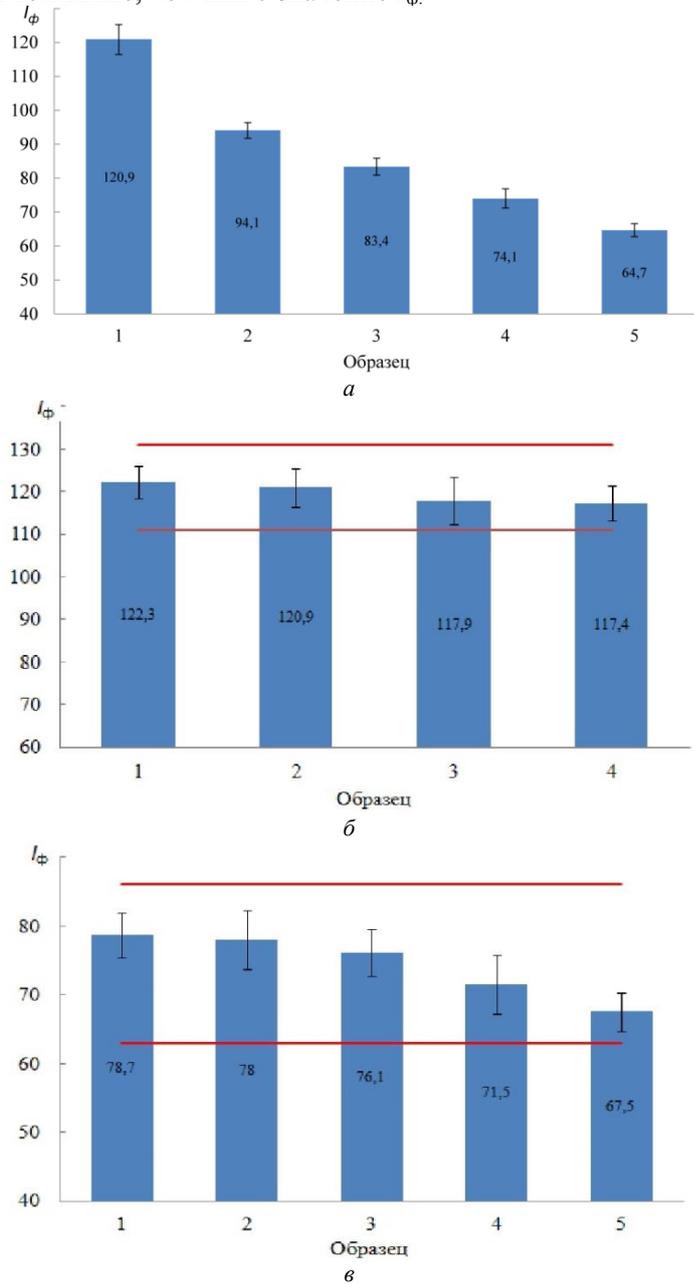


Рис. 2. Средние значения и стандартные отклонения индекса формирования образцов офисной бумаги: а – бумага разных производителей; б – бумага одного вида; в – бумага, произведенная на одной БДМ

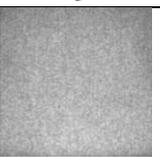
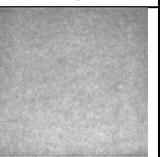
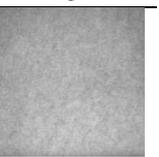
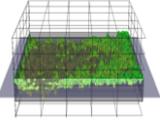
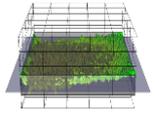
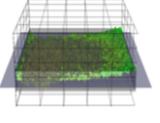
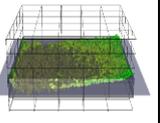
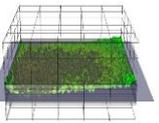
Как следует из полученных данных, разработанный метод позволяет сопоставлять равномерность формирования макроструктуры как различных видов бумаги, выработанных на разных БДМ, так и отдельных марок одного вида, произведенных на определенной БДМ. В первой группе наиболее равномерной структурой характеризуются образцы 5, качество просвета которых по сравнению с продукцией другого предприятия (образец 1) в количественном выражении практически в 2 раза выше (рис. 2, а).

Колебания качества формирования внутри выборки бумаги одного производителя относительно лучшего образца также могут быть существенными и составлять от 5...6 % (рис. 2, б) для второй группы и до 15...17 % (рис. 2, в) для третьей группы.

Указанные количественные различия равномерности просвета очевидны и при компьютерной визуализации однородности формирования макроструктуры образцов в исследованных группах в виде 2-D и 3-D проекций, а также при анализе распределения флокул по классам размеров (табл. 1).

Таблица 1

Визуализация равномерности формирования и распределение флокул по классам размеров для офисной бумаги различных предприятий-изготовителей

Показатель	Образец бумаги				
	1	2	3	4	5
Проекция: 2-D					
3-D					
Класс размеров флокул, мм:					
1	43,6	41,4	30,4	27,2	24,2
2	26,3	19,4	14,8	19,4	16,6
3	34,0	23,2	17,3	18,6	13,5
6	3,9	6,1	7,8	0,5	1,1
10	9,7	1,5	10,0	3,9	3,1
16	3,5	2,4	3,1	4,6	6,2

Наиболее показательно это проявляется у первой группы образцов офисной бумаги, т. е. в случае, когда диапазон количественного изменения индекса формирования структуры имеет достаточно широкие границы. На иллюстрациях в табл. 1 визуально прослеживается повышение равномерности макроструктуры на просвет при оценке как в плоскости, через которую осуществлялось оптическое сканирование, так и в объемном представлении макроструктуры листа после компьютерной обработки на основе амплитудно-частотного анализа Фурье.

Данные анализа распределения флокул по классам размеров для той же группы образцов офисной бумаги продемонстрировали справедливость принци-

па дополнительной оценки качества формования, предложенного в исследовании [22]. Для того, чтобы нивелировать влияние абсолютных значений индекса формования в исследованном диапазоне качества просвета, значения количества флокул в отдельных классах размеров были преобразованы в относительную форму (в доли от значения I_{ϕ}). Преобразованные данные для образцов различных производителей показаны на рис. 3.

Наиболее равномерным снижением количества флокул в классах размеров от 1 до 3 мм и одновременно монотонным изменением доли флокул во всем диапазоне классов размеров характеризуется структура образца 5, который, как показано выше, имеет минимальное значение индекса формования и наилучший просвет в выборке. Образец 4 по характеру распределения флокул по классам размеров уступает образцу 5 за счет сопоставимости доли флокул в классах 2 и 3 мм. Остальные образцы, отличавшиеся более низкой равномерностью формования (более высокими значениями I_{ϕ}), в классах размеров от 1 до 16 мм имели хаотичное распределение количества (доли) флокул.

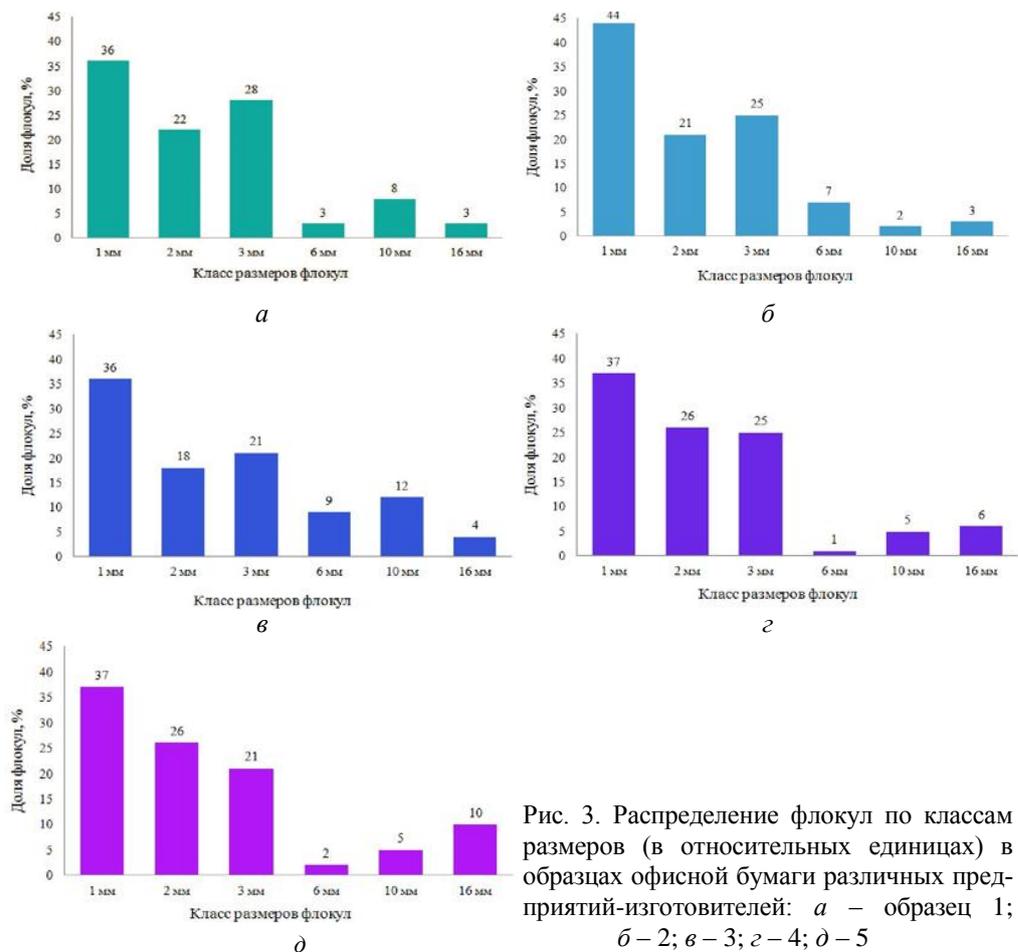


Рис. 3. Распределение флокул по классам размеров (в относительных единицах) в образцах офисной бумаги различных предприятий-изготовителей: а – образец 1; б – 2; в – 3; г – 4; д – 5

При проведении исследований равномерности формирования макроструктуры бумаги значимым является вопрос о взаимосвязях между характеристиками просвета и показателями физико-механических свойств образцов. Несмотря на очевидность теоретического положения о том, что с улучшением равномерности формирования повышаются сомкнутость структуры и количество межволоконных контактов и связей в бумаге, многофакторность и разнонаправленность влияющих параметров применительно к отдельным видам и технологиям, как правило, не позволяют установить однозначные воспроизводимые зависимости.

Это проявилось и для исследованных образцов офисных видов бумаги. Отсутствие однозначных зависимостей демонстрируют данные, полученные при физико-механических испытаниях бумаги различных предприятий-изготовителей (табл. 2).

Таблица 2

**Показатели равномерности формирования и свойства офисной бумаги
различных предприятий-изготовителей**

Показатель	Образец бумаги				
	1	2	3	4	5
I_{ϕ}	121	94	83	74	65
I_{Π}	1,6	1,9	2,1	2,2	2,3
δ , мкм	102	97	104	98	104
ρ , г/см ³	0,81	0,84	0,77	0,82	0,77
Z , %	13,1	13,9	12,8	14,4	13,6
L , м	6400/2800	7100/2100	7200/2600	5200/2800	6500/2700
I , ч.д.п.	213/77	201/38	163/29	53/40	123/37
FT , Дж/м	0,18/0,27	0,11/0,20	0,13/0,13	0,14/0,12	0,12/0,16
σ_p , МПа	51,7/22,7	59,7/17,7	54,5/20,0	42,4/22,3	49,8/20,4
ε_p , %	1,53/3,97	2,14/4,97	2,02/3,81	2,12/6,43	1,79/3,78
TEA , Дж/м ²	48,1/64,7	78,6/65,0	74,2/57,4	57,8/104,1	57,7/57,9
A_p , мДж	72/97	118/97	111/86	87/156	87/87
E_1 , МПа	5150/1850	5150/1500	5200/1800	4100/1450	5050/1850
S_1 , кН/м	524/188	502/145	541/185	400/145	522/193

Примечание. В числителе приведены данные для образцов в машинном направлении (MD), в знаменателе – в поперечном направлении (CD).

Деформационное поведение структуры исследованных образцов при статическом одноосном растяжении с постоянной скоростью приложения нагрузки в машинном и поперечном направлениях иллюстрируют зависимости, приведенные на рис. 4.

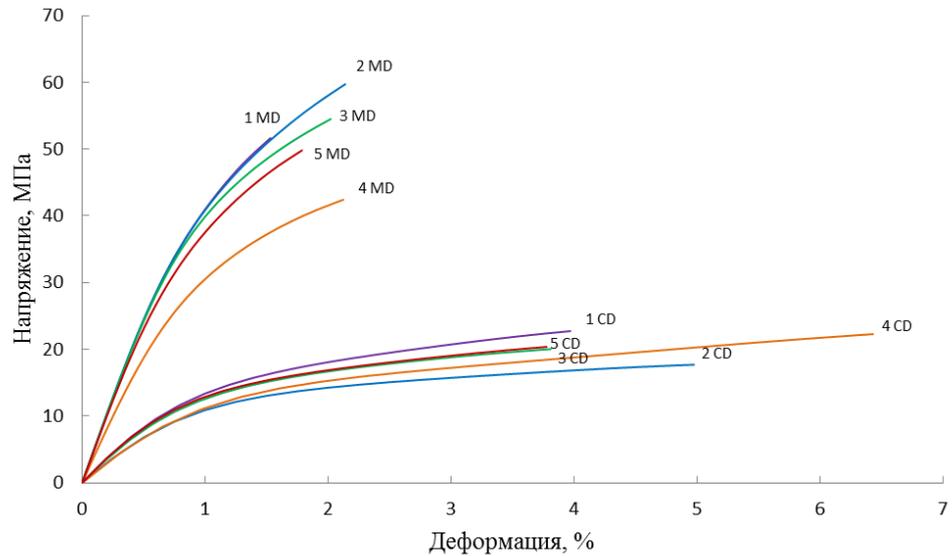


Рис. 4. Зависимость «напряжение–деформация» образцов (1–5) офисной бумаги разных предприятий-изготовителей при растяжении в MD и CD направлениях

Последовательный и попарный анализ свойств образцов офисной бумаги, отличающихся равномерностью формования, и образцов, имеющих сопоставимые характеристики просвета, позволил выявить следующие особенности в совокупностях показателей.

Как следует из табл. 2, образцы офисной бумаги 1 и 5, отличающиеся практически двукратной разницей индекса формования, имеют близкие значения характеристик прочности и деформативности при растяжении. Такие показатели, как разрывная длина, разрушающее напряжение, работа разрушения, начальный модуль упругости, жесткость при растяжении отличаются у них не более, чем на 3...5 %. Это относится к образцам, испытанным и в машинном, и в поперечном направлениях. Отметим, что зольность образца 5 составляет 13,6 %, а образца 1 – 13,1 %, Это не является критическим различием в процессе формирования уровня прочности при растяжении.

Зависимости «напряжение–деформация» (рис. 4), полученные по результатам испытаний при растяжении образцов 1 и 5 офисной бумаги, имеют близкое расположение в случае машинного направления и практически совпадают для поперечного направления. Это свидетельствует о сопоставимости показателей деформативности и прочности структуры обсуждаемых образцов несмотря на существенное различие в качестве ее формования.

С другой стороны, сопротивление излому образца 1 как в машинном, так и в поперечном направлении практически в 2 раза выше, чем у образца 5. Основной причиной данного факта, по-видимому, является более высокая проч-

ность волокон, используемых в композиции образца 1. В пользу этого утверждения свидетельствует более высокий уровень трещиностойкости в машинном и поперечном направлениях образца 1 по отношению к образцу 5.

Заслуживает обсуждения совокупность характеристик равномерности формования и показателей физико-механических свойств образцов 3 и 4, которые имеют минимальное отличие в характеристиках просвета (I_n и I_ϕ) по сравнению с любыми другими парными сопоставлениями образцов выборки. При этом образец 4 отличается низкими значениями прочности при растяжении и сопротивлении излому в машинном направлении. Образец 3, напротив, демонстрирует одни из самых высоких среди всей выборки значения разрывной длины, разрушающего напряжения, работы разрушения, модуля упругости и жесткости при растяжении в машинном направлении. Сопротивление излому образца 3 в машинном направлении превышает данный показатель для образца 4 более чем в 3 раза. Следует отметить, что зольность образца 4 составляет 14,4 %, что на 1,6 % выше, чем у образца 3, а в целом – это наибольшее значение среди всех образцов выборки. Однако подобное различие в содержании наполнителя не является определяющей причиной более низких прочностных свойств образца в машинном направлении.

Значения деформации разрушения и расположение зависимостей «напряжение–деформация» для образца 4 в направлениях MD и CD (рис. 4) свидетельствуют о том, что ему присуща специфическая степень анизотропии свойств. Она проявляется в виде высокой растяжимости в поперечном направлении (деформация разрушения – 6,43 %) и низкой прочности при растяжении в машинном направлении (разрушающее напряжение – 42,4 МПа).

Заключение

Таким образом, при использовании на практике предложенного метода оценки равномерности просвета в целях контроля качества формирования макроструктуры целлюлозно-бумажных материалов следует максимально стабилизировать факторы и параметры, влияющие на отдельные группы потребительских свойств данного вида продукции. Каждый из факторов, способных улучшать равномерность структуры бумаги (композиция по волокну, степень помола, фракционный состав полуфабрикатов, химические вспомогательные вещества, зольность и др.), необходимо регулировать индивидуально с учетом используемой технологии производства на определенной бумаго- или картоноделательной машине.

Представленные примеры сопоставления комплекса свойств образцов офисной бумаги потребительского формата А4, включающего просвет, прочность и деформативность, в целом подтверждают необходимость отдельного контроля и регулирования различных групп потребительских свойств с учетом реальных технологических условий и производственных параметров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абрамова В.В., Гурьев А.В., Попов А.И., Рудалев А.В., Тюпин А.А.* Теоретические основы и практическая реализация объемного моделирования равномерности макроструктуры бумаги // Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов: материалы II Междунар. науч.-техн. конф., 10–12 сент. 2013 г. Архангельск: САФУ, 2013. С. 71–75.
2. *Белоглазов В.И., Гурьев А.В., Комаров В.И.* Анизотропия деформативности и прочности тарного картона и методы ее оценки / под ред. В.И. Комарова. Архангельск: АГТУ, 2005. 252 с.
3. *Вайсман Л.М.* Структура бумаги и методы ее контроля. М.: Лесн. пром-ть, 1973. 152 с.
4. *Галактионов Б.В., Иванова Е.И., Сырников Ю.П., Ферсман И.А., Царев Н.Н.* Объективная оценка просвета бумаги // Изв. СПбЛТА. 1995. № 3. С. 117–131.
5. *Дероум Э.* Современные методы ЯМР для химических исследований: пер. с англ. М.: Мир, 1992. 403 с.
6. *Зеленова С.В.* Влияние структуры целлюлозно-бумажных материалов на их деформационные и прочностные свойства: дис. ... канд. техн. наук: Архангельск, 2007. 152 с.
7. *Зеленова С.В., Казаков Я.В., Комаров В.И.* Сравнительная характеристика структурной неоднородности различных видов бумаги и картона // Фундаментальные исследования в технических университетах: материалы X Всерос. конф. по проблемам науки и высш. школы, 18–19 мая 2006 г. СПб.: Политехн. ун-т, 2006. С. 350–351.
8. *Казаков Я.В., Зеленова С.В., Комаров В.И.* Влияние неоднородности структуры на характеристики жесткости картонов-лайнеров // Лесн. журн. 2007. № 3. С. 110–121. (Изв. высш. учеб. заведений).
9. *Комаров В.И.* Деформация и разрушение волокнистых целлюлозно-бумажных материалов. Архангельск: АГТУ, 2002. 440 с.
10. *Леонтьев В.Н.* Методы и средства совершенствования печатных свойств бумаги в системе «бумага – краска – оттиск»: учеб. пособие. СПб.: СПбГУРП, 2009. 170 с.
11. *Николаев Е.С.* Влияние процессов массоподготовки и формирования на равномерность макроструктуры бумаги: дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2015. 184 с.
12. *Рудалев А.В., Попов А.И., Тюпин А.А., Гурьев А.В., Абрамова В.В.* Программа для визуализации и анализа равномерности формирования макроструктуры бумаги и картона (PaperForming): свидетельство о гос. регистрации № 2013619551. Дата регистр.: 09.10.2013.
13. *Смолин А.С.* Макроструктура бумаги – измерение, формирование, влияние // Целлюлоза. Бумага. Картон. 1999. № 7-8. С. 26–28.
14. *Сташкявичус Ю.-А.Ю.* Непосредственное исследование структуры бумаги и картона // Целлюлоза. Бумага. Картон. 1976. № 4. С. 15.
15. *Сташкявичус Ю.-А.Ю.* Анизотропия прочности бумаги и методы ее оценки: дис. ... д-ра техн. наук. Л., 1984. 210 с.
16. *Финкельштейн Г.Э.* Неоднородность бумаги и потребительские свойства // Бум. пром-сть. 1972. № 10. С. 21–22.
17. *Финкельштейн Г.Э., Фляте Д.М.* Структура бумаги: [науч.-техн. инф.] / М-во ЦБП СССР, ЦНИИТЭИлеспром. М.: ЦНИИТЭИлеспром, 1969. – 52 с.
18. *Фляте Д.М.* Свойства бумаги. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Лесн. пром-сть, 1986. 680 с.

19. Ambertec Beta Formation Tester. Ambertec OY, Espoo, Finland, 1990.
20. *Bernie J.P., Douglas W.J.M.* Local Grammage Distribution and Formation of Paper by Light Transmission Image Analysis // *Tappi Journal*. 1996. Vol. 79, no. 1. Pp. 193–202.
21. *Bernie J.P., Romanetti J.L., Douglas W.J.M.* Use of Components of Formation for Predicting Print Quality and Physical Properties of Newsprint // *Proc. 86th Annual Meeting Pulp and Paper Technical Association of Canada*. Montreal, Que, Canada, 2000, Pp. A285–A291.
22. *Cresson T., Luner P.* The Characterization of Paper Formation. Part 2: The Texture Analysis of Paper Formation // *Tappi Journal*. 1990. Vol. 73(12). Pp. 175–184.
23. *Cresson T., Luner P.* The Characterization of Paper Formation. Part 3: The Use of Texture Maps to Describe Paper Formation // *Tappi Journal*. 1991. Vol. 74(2). Pp. 167–175.
24. *Cresson T., Tomimasu H., Luner P.* The Characterization of Paper Formation. Part 1: Sensing Paper Formation // *Tappi Journal*. 1990. Vol. 73(7). Pp. 153–159.
25. *Kajanto I.M., Komppa A., Ritala R.K.* How Formation Should be Measured and Characterized // *Nordic Pulp and Paper Research Journal*. 1989. Vol. 4, no. 3. Pp. 219–228.
26. *Kallmes O.J., Ayer J.A.* Light Scanning System Provides Qualitative Formation Measurement // *Pulp & Paper*. 1987. Vol. 61(4). Pp. 99–105.
27. *Kallmes O., Bernier G., Perez M.* A Mechanistic Theory for the Load Elongation Properties of Paper // *Paper Technology and Industry*. 1977. Vol. 18(7). Pp. 222–228; Vol. 18(8). Pp. 243–245; Vol. 18(9). Pp. 283–285; Vol. 18(10). Pp. 328–331.
28. *Komppa A., Ebeling K.* Correlation between the Areal Mass and Optical Densities in Paper // *The Role of Fundamental Research in Papermaking: Proc. 7th Fund. Res. Symp.* Ed. by J. Brander. London, UK, 1983. Vol. 2. Pp. 603–633.
29. *Nikolaev E.* Formation Potential of Different Type Pulps and Paper Processes // *PaPSaT Yearbook*. 2007. Pp. 49–53.
30. *Zhao R.H., Kerekes R.J.* Pressure Distribution between Forming Fabrics in Blade Gap Formers: Thin Blades. *Proc. 80th Annual Meeting, Technical Section, CPPA*. Montreal, Canada, 1994. Vol. A. Pp. A31–A38.

Поступила 25.04.17

UDC 676.017.27

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.172

Evaluation of Macrostructure Forming Uniformity of Copy Paper

*V.V. Abramova*¹, *Candidate for a Degree*

*A.V. Gur'ev*², *Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor*

¹Sukhon Cardboard and Paper Mill, pl. Pechatkina, 4, Sokol, Vologda region, 162135, Russian Federation; e-mail: vabramova@ukobf.com

²Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: a.guriev@narfu.ru

For citation: Abramova V.V., Gur'ev A.V. Evaluation of Macrostructure Forming Uniformity of Copy Paper. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 4, pp. 172–186. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.172

The problem of qualitative and quantitative evaluation of uniformity of the macro- and microstructure forming of cellulosic materials is still being solved both from the standpoint of theoretical justification and description, and in the applied (production) aspect. One of the areas of research of the interrelations between the uniformity of the structure and consumer properties of paper is the use of principles and approaches combining modern paper technology achievements, computational methods and information technologies. The results of such multidisciplinary research contribute to the development and implementation in practice of affordable, cost-effective methods of monitoring, analyzing and improving the uniformity of paper forming. This work objective is the testing of the developed software PaperForming for visualization and analysis of the homogeneity of components distribution in the sheet volume. As the objects of research, we have chosen the most popular copy paper of the use standard A size. The uniformity of the structure forming of such paper is one of the main parameters determining the stable operation of modern high-performance office equipment (printers, copiers, scanners, multifunction devices). The results of the study confirm the need for separate control and regulation of its consumer properties taking into account the real technological conditions.

Keywords: copy paper, macrostructure, forming, visualization of forming uniformity, software, control of consumer properties of paper.

REFERENCES

1. Abramova V.V., Gur'ev A.V., Popov A.I., Rudalev A.V., Tyupin A.A. Teoreticheskie osnovy i prakticheskaya realizatsiya ob"emnogo modelirovaniya ravnovernosti makrostruktury bumagi [Theoretical Foundations and Practical Realization of Volumetric Modeling of the Macrostructure Uniformity of Paper]. *Problemy mekhaniki tsellyulozno-bumazhnykh materialov: materialy II Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf., 10–12 sent. 2013 g.* [Problems of Mechanics of Pulp and Paper Materials: Proc. 2nd Intern. Sci. Eng. Conf., 10–12 September 2013]. Arkhangelsk, 2013, pp. 71–75.
2. Beloglazov V.I., Gur'ev A.V., Komarov V.I. *Anizotropiya deformativnosti i prochnosti tarnogo kartona i metody ee otsenki* [Anisotropy of Deformation and Strength of Container Board and Methods for Its Evaluation]. Ed. by V.I. Komarov. Arkhangelsk, 2005. 252 p.
3. Vaysman L.M. *Struktura bumagi i metody ee kontrolya* [Paper Structure and Methods of Its Control]. Moscow, 1973. 152 p.
4. Galaktionov B.V., Ivanova E.I., Syrnikov Yu.P., Fersman I.A., Tsarev N.N. Ob"ektivnaya otsenka prosveta bumagi [An Objective Estimate of Paper Formation Light]. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii (Izvestia SPbLTA)*, 1995, no. 3, pp. 117–131.
5. Derome A.E. *Modern NMR Techniques for Chemistry Research*. Oxford, UK, 1987. 295 p.
6. Zelenova S.V. *Vliyanie struktury tsellyulozno-bumazhnykh materialov na ikh deformatsionnye i prochnostnye svoystva: dis. ... kand. tekhn. nauk* [Influence of the Structure of Cellulose and Paper Materials on Their Deformation and Strength Properties: Cand. Eng. Sci. Diss.]. Arkhangelsk, 2007. 152 p.
7. Zelenova S.V., Kazakov Ya.V., Komarov V.I. *Sravnitel'naya kharakteristika strukturnoy neodnorodnosti razlichnykh vidov bumagi i kartona* [Comparative Characteristics of the Structural Uniformity of Various Types of Paper and Paperboard].

Fundamental'nye issledovaniya v tekhnicheskikh universitetakh: materialy X Vseros. konf. po problemam nauki i vyssh. shkoly, 18–19 maya 2006 g. [Fundamental Research at the Technical Universities: Proc. 10th All-Russ. Conf. on Problems of Sci. and System of Higher Education, May 18–19, 2006]. Saint Petersburg, 2006, pp. 350–351.

8. Kazakov Ya.V., Zelenova S.V., Komarov V.I. Vliyanie neodnorodnosti struktury na kharakteristiki zhestkosti kartonov-laynerov [Influence of Structural Nonuniformity on Stiffness Characteristics of Linerboard]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2007, no. 3, pp. 110–121.

9. Komarov V.I. *Deformatsiya i razrushenie voloknistykh tsellyulozno-bumazhnykh materialov* [Deformation and Destruction of Fibrous Cellulose and Paper Materials]. Arkhangel'sk, 2002. 440 p.

10. Leont'ev V.N. *Metody i sredstva sovershenstvovaniya pechatnykh svoystv bumagi v sisteme «bumaga – kraska – ottisk»: ucheb. posobie* [Methods and Means of Improving the Printed Properties of Paper in the System “Paper – Paint – Print”]. Saint Petersburg, 2009. 170 p.

11. Nikolaev E.S. *Vliyanie protsessov massopodgotovki i formovaniya na ravnomernost' makrostruktury bumagi: dis. ... kand. tekhn. nauk* [Effect of Mass Preparation and Forming on the Uniformity of the Paper Macrostructure: Cand. Eng. Sci. Diss.]. Saint Petersburg, 2015. 184 p.

12. Rudalev A.V., Popov A.I., Tyupin A.A., Gur'ev A.V., Abramova V.V. *Programma dlya vizualizatsii i analiza ravnomernosti formovaniya makrostruktury bumagi i kartona (PaperForming)* [Program for Visualization and Analysis of the Macrostructure Forming Uniformity of Paper and Cardboard (PaperForming)]. Certificate of the State Registration, no. 2013619551, 2013.

13. Smolin A.S. Makrostruktura bumagi – izmerenie, formirovanie, vliyanie [Macrostructure of Paper – Measurement, Formation, Influence]. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton* [Pulp. Paper. Board], 1999, no. 7–8, pp. 26–27.

14. Stashkyavichus Yu.-A.Yu. Neposredstvennoe issledovanie struktury bumagi i kartona [A Direct Study of the Structure of Paper and Paperboard]. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton* [Pulp. Paper. Board], 1976, no. 4, p. 15.

15. Stashkyavichus Yu.-A.Yu. *Anizotropiya prochnosti bumagi i metody ee otsenki: dis. ... d-ra tekhn. nauk* [Anisotropy of Paper Strength and Methods of Its Evaluation: Dr. Eng. Sci. Diss.]. Leningrad, 1984. 210 p.

16. Finkel'shteyn G.E. Neodnorodnost' bumagi i potrebitel'skie svoystva [Paper Inhomogeneity and Consumer Properties]. *Bumazhnaya promyshlennost'*, 1972, no. 10, pp. 21–22.

17. Finkel'shteyn G.E., Flyate D.M. *Struktura bumagi* [The Structure of Paper]. Moscow, 1969. 52 p.

18. Flyate D.M. *Svoystva bumagi* [Paper Properties]. Moscow, 1986. 680 p.

19. *Ambertec Beta Formation Tester*. Ambertec OY, Espoo, Finland, 1990.

20. Bernie J.P., Douglas W.J.M. Local Grammage Distribution and Formation of Paper by Light Transmission Image Analysis. *Tappi Journal*, 1996, vol. 79, no. 1, pp. 193–202.

21. Bernie J.P., Romanetti J.L., Douglas W.J.M. Use of Components of Formation for Predicting Print Quality and Physical Properties of Newsprint. *Proc. 86th Annual Meeting Pulp and Paper Technical Association of Canada*. Montreal, Que, Canada, 2000, pp. A285–A291.

22. Cresson T., Luner P. The Characterization of Paper Formation. Part 2: The Texture Analysis of Paper Formation. *Tappi Journal*, 1990, vol. 73(12), pp. 175–184.
23. Cresson T., Luner P. The Characterization of Paper Formation. Part 3: The Use of Texture Maps to Describe Paper Formation. *Tappi Journal*, 1991, vol. 74(2), pp. 167–175.
24. Cresson T., Tomimasu H., Luner P. The Characterization of Paper Formation. Part 1: Sensing Paper Formation. *Tappi Journal*, 1990, vol. 73(7), pp. 153–159.
25. Kajanto I.M., Komppa A., Ritala R.K. How Formation Should be Measured and Characterized. *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 1989, vol. 4, no. 3, pp. 219–228.
26. Kallmes O.J., Ayer J.A. Light Scanning System Provides Qualitative Formation Measurement. *Pulp & Paper*, 1987, vol. 61(4), pp. 99–105.
27. Kallmes O., Bernier G., Perez M. A Mechanistic Theory for the Load Elongation Properties of Paper. *Paper Technology and Industry*, 1977, vol. 18(7), pp. 222–228; vol. 18(8), pp. 243–245; vol. 18(9), pp. 283–285; vol. 18(10), pp. 328–331.
28. Komppa A., Ebeling K. Correlation between the Areal Mass and Optical Densities in Paper. *The Role of Fundamental Research in Papermaking: Proc. 7th Fund. Res. Symp.* Ed. by J. Brander. London, UK, 1983, vol. 2, pp. 603–633.
29. Nikolaev E. Formation Potential of Different Type Pulps and Paper Processes. *PaPSaT Yearbook*, 2007, pp. 49–53.
30. Zhao R.H., Kerekes R.J. Pressure Distribution between Forming Fabrics in Blade Gap Formers: Thin Blades. *Proc. 80th Annual Meeting, Technical Section, CPPA*. Montreal, Canada, 1994, vol. A, pp. A31–A38.

Received on April 25, 2017



УДК 630*181

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.187

БИОДЕГРАДАЦИЯ ГУМУСА

М.Г. Романовский¹, д-р биол. наук

В.В. Коровин², д-р биол. наук, проф.

Р.В. Щекалев³, канд. биол. наук

¹Институт лесоведения РАН, ул. Советская, д. 21, с. Успенское, Московская обл., Россия, 143030; e-mail: michrom@mail.ru, schekalevrv@yandex.ru

²Московский государственный университет леса, ул. 1-я Институтская, д. 1, г. Мытищи-5, Московская обл., Россия, 141005; e-mail: vladimir.v.korovin@gmail.com

Анализ литературных данных и наблюдений авторов в Шиповом и Теллермановском лесостепных лесных массивах указывает на постепенное уменьшение мощности плодородных лесных темно-серых почв лесных и аграрных черноземов. В «древних» богатых почвах слой гумуса, достигнув определенного возраста, начинает разрушаться. Мощность гумусо-аккумулятивного горизонта почв ограничена сверху. Используются оценки мощности и возраста почв, погребенных под курганными сооружениями и насыпями. В течение XX–XXI вв. мощность гумусо-аккумулятивного горизонта богатых почв Европейской России сокращается. Радиоуглеродный возраст наиболее древних фракций гумуса уменьшается, что свидетельствует об исчезновении этих фракций. Обсуждаются гипотезы непрерывного накопления (убывания) гумуса. Предположительно, тяжелые гуматные фракции гумуса, свойственные наиболее плодородным почвам, уничтожаются почвенными археями, более легкие фульватные фракции, свойственные молодым и мало-продуктивным почвам, сохраняются. Сигналом к началу деструкции гумуса служит высокая концентрация в почвах гуматного гумуса. Для накопления гумуса до «пределных» концентраций требуется примерно 150...180 тыс. лет. Старт деструкции происходит менее чем за 10...20 лет. Начало процессов деструкции и сокращения аккумулятивного горизонта плодородных почв относится к 90-м гг. XIX в. Математическое моделирование, выполненное по материалам наблюдений за концентрацией гумуса в Центрально-Черноземном заповеднике им. В.В. Алехина, показало, что рассматриваемый процесс деструкции занимает около 200 лет и сопровождается сопряженным обогащением атмосферы оксидами углерода (CO₂) и азота (N₂O). Деструкция гумуса в почвах Северного полушария позволяет выявить основной, независимый от антропогенного, источник наблюдаемых изменений состава атмосферы.

Ключевые слова: древние почвы, гуматный гумус, деструкция гумуса, Шипов и Теллермановский лесостепные массивы.

Для цитирования: Романовский М.Г., Коровин В.В., Щекалев Р.В. Биодegradация гумуса // Лесн. журн. 2017. № 4. С. 187–196. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.187

Для нас стало открытием запоздалое знакомство с книгой «Возраст и эволюция черноземов», вышедшей еще накануне распада СССР, в 1988 г. Эта книга – глубокое и оригинальное размышление об истории черноземов, о различиях между темно-серыми лесными почвами и степными черноземами на уровне обобщений конца XX в. [11, 15].

В библиотеке Института лесоведения РАН до 2011 г. книгу, судя по «незапятнанной» библиотечной карточке, никто так и не посмотрел. Между тем, она содержит единственную и достаточно полную сводку по профилям почв, погребенных под насыпными сооружениями. Насколько нам известно, до Н.Я. Марголиной с соавт. [9] никто в России не пытался обобщить разрозненные наблюдения за деградацией гумуса в погребенных почвах, прежде всего под курганами возрастом 1,5...4,5 тыс. лет.

Идет ли непрерывное сокращение «черного», аккумулятивного, гумусированного горизонта в профилях почв? Возможно, этого мы просто не видим из-за постоянного пополнения запасов гумуса корневым опадом [1, 2], а замечаем только в почвах, похороненных под насыпными сооружениями, валами, курганами и др.? Или же «таяние» гумуса началось в какой-то достаточно узкий и определенный отрезок времени? Когда начался этот процесс, не известно: то ли ориентироваться на дату захоронения, то ли, как мы предполагаем, это примерно 1890 г. [12]. После захоронения гумусовые пленки на поверхностях почвенных отдельностей, подов больше не пополняются, а почвенные микроорганизмы (вероятно, археи [19]), начав процесс разрушения, продолжают еще работать.

Но можно также предположить, как это сделали авторы упомянутой книги [9], что захоронение не изменило мощность гумусированного профиля почвы. В погребенных почвах был просто остановлен непрерывный рост аккумулятивных горизонтов черноземов, которые в окружающих «дневных» почвах продолжали расти. Захороненные почвы зафиксировали ту мощность гумусированного горизонта, которую они имели на момент захоронения. В результате они отстали от почв окружающих ландшафтов, увеличивавших мощность чернозема. В книге [9] есть ссылка на работу, опубликованную в 1914 г. [7], полевая часть которой была выполнена в 1912–1913 гг. Сокращался ли в то время почвенный профиль под курганами? Нет, так как А.Н. Криштофович не обнаружил заметного уменьшения мощности гумусо-аккумулятивного горизонта. Наоборот, под курганом слабо гумусированные почвогрунты простирались на большую, чем в фоновых условиях, глубину, свидетельствуя, возможно, об особой предыстории места отсыпки кургана. Заметная деградация гумуса отмечена только в поверхностных (0...65 см) слоях почвенного профиля, где содержание гумуса уменьшилось на 40 %. Ниже, на глубине 65...90 см, снижение составило 20...25 %. Еще ниже, на глубине 95...120 см, содержание гумуса возросло.

Для того, чтобы изменения мощности гумусированных горизонтов можно было заметить невооруженным глазом, требуется, чтобы содержание

гумуса в суглинистых почвах упало ниже 0,8 %. Горизонты с содержанием гумуса $\leq 0,8$ % [16] уже не воспринимаются как выделяющиеся по цвету среди подстилающей почвообразующей породы. Если исходить из этого, мощность гумусо-аккумулятивного горизонта почвы как под курганами, так и в профилях фоновых почв в начале XX в. была примерно одинакова и составляла 95 см [7].

Профили, выбранные А.Н. Криштофовичем для сравнения, не вполне соответствуют почвам, окружающим курган: в «пахотном» горизонте почв вблизи кургана всего лишь 5,8 % гумуса, в «контрольных» черноземах – 6,5 %. Автор [7] для сравнения выбрал почвы соседних сельхозугодий, по которым уже имелись данные о содержании гумуса. Несмотря на различия гумусовых профилей в «опыте» и в «контроле», незначительность деструкции гумуса в глубоких слоях профиля (ниже 95 см) представляется очевидной. Таким образом, за 3...4 тыс. лет захоронения мощность почвенного профиля черноземов Харьковской губернии к началу XX в. существенно не изменилась. Преобладало разрушение гумуса в верхней части погребенного профиля (табл. 1).

Таблица 1
 ^{14}C оценки возраста (тыс. лет) гуминовых фракций гумуса [9]

Горизонт	Дневная почва	Длительность погребения	Возраст	
			ожидаемый	фактический
Поверхность	1,00±0,04	~3,5	4,50	4,44±0,07
Глубина 50...60 см	4,05±0,06	~3,5	7,55	5,10±0,04

Мы предполагаем, что сокращение мощности черноземов началось только в XX в. и происходило в течение ~80 лет, предшествовавших обобщениям Н.Я. Марголиной [9].

Анализируя работы Е.А. Афанасьевой, характеризующие гумусовое состояние черноземов под лесными и степными угодьями в Стрелецкой степи (Курская область) в начале 1950-х гг., находим нижнюю границу гумусированного горизонта, выделяемую визуалью, в типичных черноземах на глубине 120 см, в черноземных почвах под лесом – 110 см [1, 2]. Там же в 1980-х гг. Н.Я. Марголина с соавт. [9] зафиксировали мощность гумусового профиля погребенных почв – 50...60 см. Не вполне понятно, связано ли это с реальным сокращением профиля или с необходимостью взятия образцов чернозема с минимальной концентрацией углерода, позволяющей провести ^{14}C -датирование почвенного гуматного гумуса. Подкурганый профиль окрашенных горизонтов сократился на 35 см относительно дневных почв. Приняв для мощности подкурганых почв 50...60 см и добавив к ней 35 см, получим мощность «прогумусированных» горизонтов черноземов Стрелецкой степи к 1980 г. Мощность черноземов составляла в это время ~95 см. Примерно за

30 лет, с 1950 г. по 1980 г., мощность «дневного» профиля сократилась на ~25 см. По представлениям авторов книги [9], мощность прогумусированных горизонтов с 1950 г. по 1980 г. напротив должна возрасти только на 3 см. Окружающие почвы прирастали примерно по 0,11 мм/год. За 3,5 тыс. лет накопилась разность почти в 40 см между мощностью погребенного под курганом и дневного профилей в Стрелецкой степи из-за роста мощности окружающих дневных черноземов. По нашим представлениям, погребенные почвы после 1890 г. «сгорали» примерно по 4,5 мм/год.

Необходимо отметить еще одно противоречие наших концепций [14] и концепций авторов [9]. По нашим убеждениям, черноземные почвы растут вверх за счет накопления эоловых осадков на поверхности водоразделов и формирования равномерного слоя покровных лёссовидных суглинков [2]. Этим же воззрением придерживался И.П. Герасимов [3]. По мнению Н.Я. Марголиной [9], почвы растут вниз, прогумусированная часть почвенного профиля удлиняется за счет превращения в гумус нового корневого опада, при этом высота поверхности почвы остается неизменной. Рост почвенного профиля вниз требует голоценового возраста черноземов (10 тыс. лет) и высокой скорости увеличения их мощности. Рост вверх сопряжен с оценкой возраста черноземов в 150...180 тыс. лет и на порядок более медленным ростом мощности почвенного профиля. Актуальное приращение высоты поверхности водоразделов не превышает ~0,007 мм/год [4, 12, 16].

В сводке, приведенной в [9], можно найти случаи различной мощности сопоставляемых гумусовых профилей независимо от возраста захоронения. Наиболее интересен случай сокращения гумусированной (черной) части почвы на 40 см за время захоронения в течение всего лишь 800 лет под насыпным валом г. Тулы. Если рассматривать весь массив данных о погребенных почвах, собранных авторами [9], то связь между возрастом погребения и сокращением гумусированного слоя перестает быть очевидной. Мы предлагаем другое объяснение: различия в мощности погребенных и дневных почв нарастают благодаря преимущественному сгоранию в подошвенном слое погребенной почвы наиболее древних компонентов гумуса. Концентрация гумуса в нижних слоях погребенных почв снижается до значений, не воспринимаемых глазом.

Параллельно наблюдаемому росту различий мощности гумусированного слоя в погребенных и дневных почвах изменяется и возраст горизонтов почвенного профиля. За 3,5 тыс. лет существования курганной насыпи, избранной авторами для подробного анализа [9], возраст гумуса в поверхностных горизонтах почвы увеличился в полном соответствии со временем захоронения почвы $1,0 + 3,5 \approx 4,5$ тыс. лет. Возраст поверхностного слоя почвы перед погребением был такой же, как у окружающих черноземов, и такой же, как и у современной дневной почвы – 1 тыс. лет. За время захоронения он увеличился на 3,5 тыс. лет. В подошвенных слоях почвенного профиля подобного изменения не произошло (табл. 1).

Сокращение мощности почвенного профиля за счет разрушения наиболее древнего гумуса позволяет непротиворечиво объяснить наблюдаемые изменения возраста самых нижних (подошвенных) слоев профиля. Возраст подошвенного гумуса уменьшается параллельно снижению мощности гумусового горизонта. «Сгорание» гумуса имеет строгие временные рамки, только в XX в. подошва почвенного профиля черноземов стала приближаться к поверхности почвенного профиля.

По мере разворачивания истории биогеоценоза и старения гелевых пленок [16, 17], покрывающих педы, возрастают их сплошность, толщина и присутствие в составе бактериальных ферментов [5]. Первичная гипотеза предполагала, что со временем гелевые пленки на разделах почвенных фаз приобретают некий полный комплект ферментов и начинают самоуничтожаться [12]. Но, вероятнее всего, деструкция гумуса – не автокаталитическая реакция, а результат активации почвенных архей [19], «дремавших» до момента приобретения гелевыми пленками гумуса определенной сплошности и биохимической структуры.

С «древностью» почв [6] и скоростью потери ими органического углерода связана насыщенность почв гуминовыми кислотами. На схеме Д.С. Орлова с соавторами [11] граница распространения гуминовых составляющих гумуса совпадает с границей древнего «домосковского» почвообразования. Степные черноземы и темно-серые лесные почвы не идут на север далее границ распространения Московского покровного оледенения. В древних почвах соотношение масс гуматных и фульватных гуминовых кислот ≥ 1 [1, 11].

Обогащение атмосферы избыточным углеродом (CO_2) в первую очередь за счет деструкции почвенного гуматного гумуса [13], насыщенного азотом, хорошо объясняет высокий уровень корреляции концентраций углерода и азота в составе атмосферных газов, заключенных в колонки фирна из ледников Антарктиды после 1890 г. [18].

Какова скорость деструкции гумуса и какие потоки С-содержащих газов поступают в атмосферу из древних почв? В целом по всему почвенному профилю потери гумуса, связанные с его деструкцией в древних почвах, оцениваются нами [12] примерно в 2 т С/га за год. Какое же время древние почвы смогут обеспечивать столь интенсивное поступление С-содержащих газов в атмосферу? Примерная имитационная модель этого процесса, основанная на данных, полученных для мощных моренных суглинков Теллермановского опытного лесничества Института леса АН России с древними темно-серыми лесными почвами на их поверхности [13], представлена в табл. 2, где приведены максимальные и минимальные значения запасов гуматного и фульватного гумуса для наиболее и наименее продуктивных нагорных лесных биогеоценозов V и I классов бонитета. Соотношение гуматного и фульватного гумуса по состоянию на 1980–1990 гг. принято равным 1:1.

Таблица 2

Запасы углерода (т С/га) в суглинках нагорных зональных широколиственных лесов и их деструкция в XX–XXI вв.

Слой	Год	Гумус гуматный (Г _г)	Гумус фульватный (Г _ф)	Г _г + Г _ф
0...10 м	1900	200...320	140	340...460
	1980	100...160	140	240...300
	2010	0...100	140	140...240
	к 2050	0...20	140	140...160
В том числе 0...1 м	1900	90...160	100	190...260
	1980	10...80	100	110...180
	2010	0...50	100	100...150
	к 2050	0...10	100	100...110

Примечание. Оценочные данные о запасах С-гумуса приведены в соответствии с работой [16].

К этому времени относятся исследования Н.Я. Марголиной [9], в эти же годы собраны основные данные, послужившие фактической базой для сводки Д.С. Орлова [11].

Имитационная модель показывает, что запасов гуматного гумуса древних почв хватит примерно до середины XXI в. Затем эмиссия углерода из древних почв сократится и постепенно прервется. Археи, съев гуматные компоненты, перейдут на другие субстраты и будут дожидаться следующей порции полноценно укомплектованного почвенного гумуса. Оценки лишь приближенно отражают запасы гумуса и скорость их деструкции, однако они не противоречат известным классическим определениям. Реальные значения, вероятно, несколько выше [8]. По Е.А. Афанасьевой [1, 2], в Стрелецкой степи (Центрально-черноземный заповедник им. В.В. Алехина) в 1950-х гг. запас гумуса в слое 0...1 м достигал 570 т/га, что в пересчете на углерод составляло 330 т С/га [2, табл. 17]. Под лесными угодьями (дубравы «паркового типа») слой почвы 0...1 м содержал 433 т/га гумуса, или ~240...250 т С/га [1]. Растянутость гумусового профиля под дубравами свидетельствует о возможном простираннии гумусированных горизонтов до глубины 10...12 м, до уровня капиллярной каймы грунтовых вод, и возможном существенном уменьшении запаса поглощающих корней дуба и запаса С-гумуса под «лесом».

Новую волну деструкции гумуса в почвах, начало истории которых относится к периоду следующего (Микулинского) интерстадиала, можно ожидать примерно через 40...70 тыс. лет. Современное «дыхание» микулинских почв значительно уступает дыханию домосковских темно-серых и черноземных почв [8]. Молодые голоценовые почвы вообще не эмитируют, но аккумулируют углерод. По сводке А.В. Наумова [10] дыхание почв тесно согласуется с их возрастом и широтой, т. е. с возрастом и приходящим потоком солнечной энергии.

Если примем прирост биомассы архей равным 0,25 углерода, тогда величина перерабатываемой ими массы гумусовых веществ составит около 0,4...0,6 т С/га в год [12, 13, 16]. Работа архей по «сжиганию» гумуса завершает цикл развития биогеоценоза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Афанасьева Е.А.* Черноземы Стрелецкой степи (путеводитель). Первый делегатский съезд почвоведов. М.: АН СССР, 1958. 18 с.
2. *Афанасьева Е.А.* Черноземы Средне-Русской возвышенности. М.: Наука, 1966. 224 с.
3. *Герасимов И.П.* Абсолютный и относительный возраст почв // Почвоведение. 1969. № 5. С. 27–32
4. *Глухова Т.В.* Влияние атмосферных осадков и пыли на питание болот // Экол. химия. 1995. № 4(4). С. 282–287.
5. *Загуральская Л.М.* Динамика микробиологических параметров минерализации органического вещества в почвах сосновых лесов Карелии // Лесоведение. 2000. № 2. С. 8–13.
6. *Костычев П.А.* Почвы черноземной области России, их происхождение и свойства. М.: Сельскохозяйств. изд-во, 1949. 240 с.
7. *Криштофович А.Н.* Исследование почвы под курганами в Харьковской губернии // Почвоведение. 1914. № 1-2. С. 33–45.
8. *Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Розанова Л.Н., Мякина Т.Л., Сапронов Д.В., Кудяров В.Н.* Многолетний мониторинг эмиссии CO₂ из дерново-подзолистой почвы: анализ влияния гидротермических условий и землепользования // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Т. 21. СПб.: Гидрометеоздат, 2007. С. 23–43.
9. *Марголина Н.Я., Александровский А.Л., Ильичев Б.А., Черкинский А.Е., О.А. Чичагова А.Е.* Возраст и эволюция черноземов. М.: Наука, 1988. 144 с.
10. *Наумов А.В.* Дыхание почвы: составляющие, экологические функции, географические закономерности. Новосибирск: СО РАН, 2009. 208 с.
11. *Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Суханова Н.И.* Органическое вещество почв Российской Федерации. М.: Наука, 1996. 256 с.
12. *Романовский М.Г.* Углерод древних почв – источник эмиссии С в атмосферу // Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 2012. № 7(90). С. 67–72.
13. *Романовский М.Г., Мамаев В.В., Селочник Н.Н., Гопиус Ю.А., Жиренко Н.Г., Кондрашова Н.К., Рубцов В.В., Уткина И.А.* Экосистемы Теллермановского леса / под ред. В.В. Осипова. М.: Наука, 2004. 340 с.
14. *Романовский М.Г., Судницына Т.Н.* Моделирование возраста лесных темно-серых почв на водоразделах среднерусской лесостепи // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. СПб.: Гидрометеоздат, 2007. Т. 21. С. 223–231.
15. *Таргульян В.О., Соколова Т.А.* Почва как биокосная природная система: «реактор», «память» и регулятор биосферных взаимодействий // Почвоведение. 1996. № 1. С. 37–41.

16. Федотов Г.Н., Рудометкина Т.Ф., Шалаев В.С. Влияние поверхностно-активных веществ на свойства почв // Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 2012. № 7(90). С. 36–45.

17. Федотов Г.Н., Шалаев В.С., Путляев В.И., Иткис Д.М. Исследование наноструктурной организации почвенных гелей // Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 2010. № 3. С. 212–222.

18. Battle M., Bender M., Sowers T., Tans P.P., Butler J.H., Elkins J.W., Ellis J.T., Conway T., Zhang N., Lang P., Clarke A.D. Atmospheric Gas Concentrations Over the Past Century Measured in Air from Firm at the South Pole // Nature. 1996. No. 383(6597). Pp. 231–235.

19. Woese C.R., Kandler O., Wheelis M.L. Towards a Natural System of Organisms: Proposal for the Domains Archaea, Bacteria and Eucarya // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 1990. Vol. 87. Pp. 4576–4579.

Поступила 17.01.17

UDC 630*181

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.187

Humus Biodegradation

M.G. Romanovskiy¹, Doctor of Biological Sciences

V.V. Korovin², Doctor of Biological Sciences, Professor

R.V. Shchekalev¹, Candidate of Biological Sciences

¹Institute of Forest Science of the Russian Academy of Sciences, ul. Sovetskaya, 21, Uspenskoe, Moscow region, 143030, Russian Federation; e-mail: michrom@mail.ru, schekalevr@yandex.ru

²Moscow State Forest University, 1-ya Institutskaya ul., 1, Mytishchi-5, Moscow region, 141005, Russian Federation; e-mail: vladimir.v.korovin@gmail.com

The analysis of the literature data and authors' observations in the Shipov and Tellerman forest-steppe woodlands indicates a gradual decrease in the thickness of the fertile forest dark-gray soils of forest and agrarian chernozems. In the "ancient" rich soils the humus layer, having reached a certain age, begins to deteriorate. The thickness of the humus-accumulative horizon of soils is bounded above. We have used the estimates of the thickness and age of the soils buried beneath the mound structures and earth fills. During the 20–21st centuries the thickness of the humus-accumulative horizon of the rich soils of European Russia is declining. The radiocarbon age of the most ancient humus fractions decreases, which indicates the disappearance of these fractions. We discuss the hypotheses of continuous humus accumulation (decrease). Presumably, the heavy humate fractions of humus, characteristic of the most fertile soils, are destroyed by soil archaea; the lighter fulvate fractions, peculiar to young and low-productive soils, are preserved. The signal for the onset of humus degradation is the high concentration of humate humus in soils. Approximately 150...180 thousand years are required to accumulate humus up to the

For citation: Romanovskiy M.G., Korovin V.V., Shchekalev R.V. Humus Biodegradation. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 4, pp. 187–196. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.187

maximum concentrations. The period of the destruction onset lasts less than 10...20 years. The beginning of the destruction and reduction processes of the accumulative horizon of fertile soils belongs to the 90's of the 19th century. Mathematical modeling, based on observations over the concentration of humus in the V.V. Alekhin Central Chernozem Reserve, demonstrates that the process of destruction takes about 200 years and will be accompanied by a conjugate enrichment of the atmosphere with carbon dioxides (CO₂) and nitrogen oxides (N₂O). The humus destruction in the soils of the Northern Hemisphere reveals the main source of observed changes in the composition of the atmosphere, independent of the anthropogenic one.

Keywords: ancient soil, humate humus, humus degradation, Shipov and Tellerman forest-steppe woodlands.

REFERENCES

1. Afanas'eva E.A. Chernozemy Streletskoy stepi (putevoditel') [Chernozems of the Strelets Steppe]. *Pervyy delegatskiy s"ezd pochvovedov* [The 1st Delegate Congress of Soil Scientists]. Moscow, 1958. 18 p.
2. Afanas'eva E.A. *Chernozemy Sredne-Russkoy vozvysheynosti* [Chernozems of the Middle Russian Upland]. Moscow, 1966. 224 p.
3. Gerasimov I.P. Absolyutnyy i otnositel'nyy vozrast pochv [Absolute and Relative Age of Soils]. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science], 1969, no. 5, pp. 27–32.
4. Glukhova T.V. Vliyaniye atmosferykh osadkov i pyli na pitaniye bolot [Influence of Atmospheric Precipitation and Dust on the Feeding of Wetlands]. *Ekologicheskaya khimiya*, 1995, no. 4(4), pp. 282–287.
5. Zagural'skaya L.M. Dinamika mikrobiologicheskikh parametrov mineralizatsii veshchestva v pochvakh osnovnykh lesov Karelii [Dynamics of Microbiological Parameters of Matter Mineralization in Soils of Pine Forests of Karelia]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2000, no. 2, pp. 8–13.
6. Kostychev P.A. *Pochvy chernozemnoy oblasti Rossii, ikh proiskhozhdeniye i svoystva* [Soils of the Chernozem Region of Russia, Their Origin and Properties]. Moscow, 1949. 240 p.
7. Krishtofovich A.N. Issledovaniye pochvy pod kurganami v Khar'kovskoy gubernii [Study of the Soil under the Mounds in the Kharkov Province]. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science], 1914, no. 1-2, pp. 33–45.
8. Kurganova I.N., Lopes de Gerenyu V.O., Rozanova L.N., Myakshina T.L., Sapronov D.V., Kudiyarov V.N. Mnogoletniy monitoring emissii SO₂ iz dernovo-podzolistoy pochvy: analiz vliyaniya gidrotermicheskikh usloviy i zemlepol'zovaniya [Long-Term Monitoring of CO₂ Emission from Sod-Podzolic Soils: Influence Analysis of Hydrothermal Conditions and Land Use]. *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem. T. 21* [Problems of Ecological Monitoring and Modeling of Ecosystems. Vol. 21]. Saint Petersburg, 2007, pp. 23–43.
9. Margolina N.Ya., Aleksandrovskiy A.L., Il'ichev B.A., Cherkinskiy A.E., Chichagova O.A. *Vozrast i evolyutsiya chernozemov* [Age and Evolution of Chernozems]. Moscow, 1988. 144 p.
10. Naumov A.V. *Dykhaniye pochvy: sostavlyayushchie, ekologicheskie funktsii, geograficheskie zakonomernosti* [Breath of the Soil: Components, Ecological Functions, Geographical Patterns]. Novosibirsk, 2009. 208 p.

11. Orlov D.S., Biryukova O.N., Sukhanova N.I. *Organicheskoe veshchestvo pochv Rossiyskoy Federatsii* [Organic Matter of Soils of the Russian Federation]. Moscow, 1996. 256 p.
12. Romanovskiy M.G. Uglerod drevnikh pochv – istochnik emissii C v atmosferu [The Carbon of Ancient Soils – the Source of C Emission into Atmosphere]. *Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 2012, no. 7(90), pp. 67–72.
13. Romanovskiy M.G., Mamaev V.V., Selochnik N.N., Gopius Yu.A., Zhirenko N.G., Kondrashova N.K., Rubtsov V.V., Utkina I.A. *Ekosistemy Tellermanovskogo lesa* [Ecosystems of the Tellerman Forest]. Ed. by V.V. Osipov. Moscow, 2004. 340 p.
14. Romanovskiy M.G., Sudnitsyna T.N. Modelirovanie vozrasta lesnykh temno-serykh pochv na vodorazdelakh srednerusskoy lesostepi [Age Modeling of Forest Dark Gray Soils on the Watersheds of the Central Russian Forest-Steppe]. *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem. T. 21* [Problems of Ecological Monitoring and Modeling of Ecosystems. Vol. 21]. Saint Petersburg, 2007, pp. 223–231.
15. Targul'yan V.O., Sokolova T.A. Pochva kak biokosnaya prirodnyaya sistema: “reactor”, “pamyat” i regulyator biosfernykh vzaimodeystviy [Soil as a Biotic / Abiotic Natural System: a Reactor, Memory, and Regulator of Biospheric Interactions]. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science], 1996, no. 1, pp. 37–41.
16. Fedotov G.N., Rudometkina T.F., Shalaev V.S. Vliyanie poverkhnostno-aktivnykh veshchestv na svoystva pochv [Influence of Surface-Active Substances on Property of the Soils]. *Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 2012, no. 7(90), pp. 36–45.
17. Fedotov G.N., Shalaev V.S., Putlyayev V.I., Itkis D.M. Issledovanie nanostrukturnoy organizatsii pochvennykh geley [Research of Nanostructural Organization of the Soil's Gels]. *Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 2010, no. 3, pp. 212–222.
18. Battle M., Bender M., Sowers T., Tans P.P., Butler J.H., Elkins J.W., Ellis J.T., Conway T., Zhang N., Lang P., Clarke A.D. Atmospheric Gas Concentrations Over the Past Century Measured in Air from Firn at the South Pole. *Nature*, 1996, no. 383(6597), pp. 231–235.
19. Woese C.R., Kandler O., Wheelis M.L. Towards a Natural System of Organisms: Proposal for the Domains Archaea, Bacteria and Eucarya. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 1990, vol. 87, pp. 4576–4579.

Received on January 17, 2017



УДК 049.3

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.197

НОВАЯ КНИГА «ГЕОБОТАНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ»*

Р.С. Хамитов, д-р с.-х. наук, доц.

Вологодская государственная молочнохозяйственная академия им. Н.В. Верещагина, ул. Панкратова, д. 9-а, корп. 7, с. Молочное, г. Вологда, Россия, 160555; e-mail: renatkhamitov@yandex.ru

Ландшафтообразующее значение лесов Европейской части России предопределяет актуальность осуществления в них комплексных лесоводственно-геоботанических исследований, необходимых для определения видового состава растительных группировок в различных регионах, оценки их состояния и выявления факторов, оказывающих на них негативное влияние.

Значительную работу в этом направлении проделали сотрудники Череповецкого государственного университета и Вологодской государственной молочнохозяйственной академии проф. А.П. Добрынин, доц. И.В. Евдокимов и ст. преп. М.Н. Кутузов. Они преодолели на автомобиле путь от Черного до Белого моря длиной более 3,5 тыс. км. Профессиональные ученые-лесоводы заложили 40 пробных площадей (геоботанических описаний) для осуществления лесотаксационных и геоботанических исследований. Применение маршрутного метода позволило проанализировать арборифлору различных природных зон.

В монографии приводятся сведения о видовом составе лесных растительных сообществ и о проективном покрытии отдельных видов растений. Всего зафиксировано 223 вида лишайников, мхов и высших сосудистых растений. Наиболее часто встречались представители следующих семейств: розоцветные (22 вида), астровые (18), вересковые (13), яснотковые (10), бобовые (9) и березовые (9). Другие семейства (аралиевые, тисовые, самшитовые, тутовые, клекачковые и др.) представлены лишь одним видом растений. Выявлены места расположения редких и исчезающих видов (сосна кедровая сибирская, тис ягодный, береза карликовая, шикша черная, жимолость Палласа, диоскрея кавказская, иглица колхидская, иглица колючая, инжир,

*Добрынин А.П., Евдокимов И.В., Кутузов М.Н. Геоботанические исследования в Европейской части России (от Черного до Белого моря). Вологда, 2016. 112 с.

клекачка колхидская, самшит колхидский и др.). Эти ценные данные дополнены таксационной характеристикой обследуемых насаждений. Авторами определены направления смены процессов естественного возобновления и характер смены пород, сделано заключение, что лесная среда ландшафтов вдоль автомобильных дорог значительно трансформирована под воздействием антропогенных нагрузок.

Содержательные материалы исследований весьма качественно оформлены. Мелованная бумага, твердый красочный переплет отличают это издание.

Книга адресована экологам, биологам, лесоводам, ботаникам и просто любителям путешествий по родной стране. Читатель найдет в ней множество видов растений, в том числе и экзотических. Цветные фотографии и рисунки будут полезны при определении видовой принадлежности отдельных представителей арборифлоры. Особый интерес это издание представляет для студентов-лесоводов, изучающих курс дендрологии. Характеристика основных лесообразующих пород, приведенная в книге, дополнит их знания по этой дисциплине.

UDC 049.3

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.4.197

New Book "Geobotanical Studies in the European Part of Russia"

R.S. Khamitov, Doctor of Agriculture, Associate Professor

Vologda State Dairy Farming Academy by N.V. Vereshchagin, Pankratov str., 9a, bl. 7, Molochnoye, Vologda, 160555, Russian Federation;

e-mail: renatkhamitov@yandex.ru

«Лесной журнал» публикует научные статьи по всем отраслям лесного дела, сообщения о внедрении законченных исследований в производство, о передовом опыте в лесном хозяйстве и лесной промышленности, информацию о научной жизни высших учебных заведений, рекламные материалы и объявления. Предназначается для научных работников, аспирантов, инженеров лесного хозяйства и лесной промышленности, преподавателей и студентов.

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ
«ЛЕСНОЙ ЖУРНАЛ» № 4/358

Подписной индекс: 70368, 93510

Выпускающий редактор И.В. Кузнецова, редактор Л.С. Окулова
Компьютерная верстка О.В. Деревцовой, Е.Б. Красновой
Перевод Е.Г. Кузнецовой

Сдан в набор 28.04.2017. Подписан в печать 14.06.2017. Заказ № 5399
Форм. бум. 70×108 1/16. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 16,140.
Уч.-изд. л. 10,730. Тираж 1000 экз.
Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

Адрес редакции: 163002, г. Архангельск, наб. Сев. Двины, 17,
тел./факс: +7 (818-2) 28-76-18,
e-mail: forest@narfu.ru, <http://lesnoizhurnal.ru/>

Свидетельство о регистрации средств массовой информации ПИ № ФС77-68484 от 27.01.2017.

Издательский дом им. В.Н. Булатова САФУ
163060, г. Архангельск, ул. Урицкого, 56

© ИВУЗ, «Лесной журнал», 2017

“Lesnoi Zhurnal” publishes scientific articles covering all areas of forestry, updates its readers on the use of completed research in production and on the best practice in forest industry and management. On its pages you can also find information about scientific activities at higher educational institutions, as well as advertisements and announcements. The journal is intended for scientists, PhD students, forestry engineers, university and college faculty, and students.

BULLETIN OF HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTIONS
“LESNOY ZHURNAL” no. 4/358

Subscription index: 70368, 93510

Executive editor I.V. Kuznetsova, editor L.S. Okulova
Make-up by O.V. Derevtsova, E.B. Krasnova
Translator E.G. Kuznetsova

Sent to the printer's 28.04.2017. Signed in print 14.06.2017. Order no. 5399
Paper format 70×108 1/16. Times Font. Conv. printer's sh. 16.140.
Acad. publ. sh. 10.730. Circulation 1000 copies.
Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

Contacts: 17 Naberezhnaya Severnoy Dviny, Akhangelsk, 163002, Russia,
phone/fax +7 (8182) 28-76-18,
e-mail: forest@narfu.ru, <http://lesnoizhurnal.ru/>

Registration certificate ПИ № ФС77-68484 issued on 27.01.2017.

NArFU Publishing House under name of V.N. Bulatov
Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education
“Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov”
56 Uritskogo St., Arkhangelsk, 163060



© IVUZ, “Lesnoy Zhurnal”, 2017

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ
«Лесной журнал»

СЕНТЯБРЬ
SEPTEMBER

5–7

КРАСНОЯРСК
KRASNOYARSK

ВЕДУЩИЙ РЕГИОНАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ ПО ДЕРЕВООБРАБОТКЕ В РОССИИ!



ИТОГИ
ВЫСТАВКИ 2016:

Площадь экспозиции: **6850 кв. м.**
Количество экспонентов: **111**, из них **28** зарубежных компаний.
География экспонентов: **14** стран и **19** регионов России.

- ОБОРУДОВАНИЕ
- ТЕХНОЛОГИИ
- ИНСТРУМЕНТ
- ОСНАСТКА

ДЛЯ ДЕРЕВООБРАБОТКИ,
ЛЕСОЗАГОТОВКИ,
МЕБЕЛЬНЫХ
ПРОИЗВОДСТВ

0+

МВДЦ «Сибирь»
г. Красноярск, ул. Авиаторов, 19
тел.: (391) 22-88-561, 22-88-611
expodrev@krasfair.ru



Организаторы:



Официальные партнеры:



Государственный информационный партнер:



Подписка на II полугодие 2017 г.
на «Лесной журнал» принимается по каталогам
Агентства «Роспечать» «Газеты. Журналы»(индекс 70368),
«Пресса России»,
серия «Известия высших учебных заведений»(индекс 93510).

Адрес редакции: 163002, Россия,
г. Архангельск, наб. Северной Двины, 17.
Тел./факс: (818-2) 28-76-18
E-mail: forest@narfu.ru

ISSN 0536 – 1036

DOI:10.17238/issn0536-1036

Изв. вузов. Лесной журнал, № 4, 1 – 198