

ISSN 0536 – 1036

DOI:10.17238/issn0536-1036

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

Лесной журнал

Основан в 1833 г.

5/359

2017

Уважаемые читатели, авторы, рецензенты, члены редакционной коллегии!

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

К сведению авторов

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

Основные требования, предъявляемые к статьям:

научная новизна; актуальность задачи, решаемой данным исследованием; корректность постановки эксперимента и полученных результатов; возможность воспроизведения экспериментальных данных; ясность и логичность изложения; правильное оформление рукописи. Текст представляется на бумажном и электронном носителях на русском или английском языке. Объем статьи не должен превышать 8–12 страниц (обзорная статья 16–18 страниц) формата А4, включая таблицы, схемы, рисунки и список литературы. Электронный вариант статьи выполняется в текстовом редакторе Microsoft Word, шрифт 14 Times New Roman, межстрочный интервал – множитель 1.2, поля – 2 см. Иллюстрации представляются в форматах Tiff или Jpg, графики в Excel с разрешением не менее 300 dpi. Формулы набираются в Word for Windows. Нумеруются только те формулы, на которые делаются ссылки в тексте. Порядковый номер ставится в круглых скобках справа от формулы. В имени файла указываются фамилия и инициалы автора. Все страницы рукописи имеют сплошную нумерацию. Порядковые номера страниц проставляются посередине верхнего поля страницы арабскими цифрами. Материал статьи должен быть ясно изложен и содержать: код УДК; название статьи; фамилия и инициалы автора(ов); ученая степень/звание автора(ов); название организации, в которой выполнена работа (с полным почтовым адресом); адрес электронной почты; аннотация; ключевые слова; текст статьи (введение, методы исследования, результаты исследования и их обсуждение, заключение); список литературы; метаданные на английском языке в том же порядке, как и в варианте на русском языке.

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

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

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

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



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

5/359

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

5/359

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

- Н.А. Моисеев.* Лидеру лесопромышленности в России, профессору М.М. Орлову – 150 лет со дня рождения (1867–1932)..... 9

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

- А.А. Добровольский, Л.С. Богданова, В.Ю. Нешатаев.* Особенности липняков на территории Лисинского участкового лесничества Учебно-опытного лесничества..... 21
- В.Н. Глухих, А.Ю. Охлопкова.* Формирование смоляных кармашков в стволах деревьев лиственницы даурской..... 35
- С.В. Коптев, С.В. Третьяков, А.П. Богданов, А.С. Ильинцев, С.А. Демиденко.* Нормативы таксации ольховых древостоев методом реласкопических круговых площадок..... 53
- Н.В. Килушева, П.А. Феклистов, Н.В. Ежова, И.Н. Болотов, Б.Ю. Филиппов.* Сравнительный анализ содержания минеральных элементов в древесине сосны и ели..... 64
- А.М. Пастухова.* Перспективность отбора полусибов кедра сибирского по интенсивности роста в раннем возрасте..... 73
- В.Ф. Ковязин, К.Х. Кан, Т.К. Фам.* Оценка видового состава древесных растений в ландшафтах Павловского парка Санкт-Петербурга..... 82
- С.А. Корчагов, С.Е. Грибов, О.Ю. Обрядина.* Экономическая оценка создания лесных культур различным видом посадочного материала..... 92

ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

- Н.В. Казаков, П.Б. Рябухин.* Методы учета древостоев лесосек и мониторинга произведенной продукции..... 103

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

- О.Д. Мюллер, В.И. Мелехов, Н.Г. Пономарева, Т.В. Тюрикова.* Влияние относительной длины фильеры матрицы на давление прессования термомодифицированной березовой коры в пресс-грануляторах валкового типа 110
- А.В. Турков, В.И. Коробко, А.А. Макаров.* Экспериментальные исследования систем перекрестных балок из деревянных элементов на квадратном плане при изменении динамических и статических нагрузок..... 119
- А.Ф. Замилова, М.Ф. Галиханов, Н.А. Пестова.* Влияние постоянного электрического поля на влагостойкость и прочность фанерных материалов..... 127

ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

- Ю.Л. Юрьев, И.К. Гиндулин, Н.А. Дроздова.* Варианты переработки низко-
сортной древесины на углеродные материалы..... 139
- А.И. Назмиева, М.Ф. Галиханов, Л.Р. Мусина.* Изучение физико-механических
свойств и процесса биоразложения модифицированной мешочной бумаги 150

КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

- Н.А. Бабич.* Словарь-справочник «Эколого-географические термины в лесо-
ведении»..... 159
-
-



CONTENTS

N.A. Moiseev. Leader of Forest Management in Russia, Professor M.M. Orlov (on the 150th Anniversary of His Birth) (1867 – 1932)..... 9

FORESTRY

A.A. Dobrovol'skiy, L.S. Bogdanova, V.Yu. Neshataev. Peculiarities of Lime Woods in the Lisino Forestry of the Training Forest District..... 21

V.N. Glukhikh, A.Yu. Okhlopkova. Resin Pocket Formation in Tree Stems of Dahurian Larch..... 35

S.V. Koptev, S.V. Tret'yakov, A.P. Bogdanov, A.S. Il'intsev, S.A. Demidenko. Forest Inventory Norms of Alder Stands by the Relascopic Circular Plot Method..... 53

N.V. Kilyusheva, P.A. Feklistov, N.V. Ezhova, I.N. Bolotov, B.Yu. Filippov. Comparative Analysis of Mineral Content in Pine and Spruce Wood..... 64

A.M. Pastukhova. Prospects of Selection of Siberian Cedar Half-Sibs According to Their Growth Rate at an Early Age..... 73

V.F. Kovyazin, K.Kh. Kan, T.K. Fam. Assessment of Woody Plant Species Composition in Landscapes of the Pavlovsk Park in Saint Petersburg..... 82

S.A. Korchagov, S.E. Gribov, O.Yu. Obryadina. Economic Appraisal of Forest Plantation Development by Kinds of Planting Material..... 92

WOOD EXPLOITATION

N.V. Kazakov, P.B. Ryabukhin. The Accounting Methods of Stands in the Harvest Sites and Actual Production Monitoring..... 103

MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOOD SCIENCE

O.D. Myuller, V.I. Melekhov, N.G. Ponomareva, T.V. Tyurikova. Influence of the Relative Length of the Matrix Drawplate on the Compacting Pressure of Thermally-Modified Birch Bark in the Roller Press-Granulators..... 110

A.V. Turkov, V.I. Korobko, A.A. Makarov. The Experimental Studies of Cross-Beam Systems of Wood Members on a Square Plan when Dynamic and Static Load Variation..... 119

A.F. Zamilova, M.F. Galikhanov, N.A. Pestova. Influence of the DC Field on Moisture Resistance and Strength of the Plywood Materials..... 127

CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD

- Yu.L. Yur'ev, I.K. Gindulin, N.A. Drozdova.* Options of Low-Grade Wood Processing into Carbon-Base Materials..... 139
- A.I. Nazmieva, M.F. Galikhanov, L.R. Musina.* Physical and Mechanical Properties and the Process of Biodegradability of Modified Sack Paper..... 150

CRITIQUE AND BIBLIOGRAPHY

- N.A. Babich.* The Dictionary “Ecological and Geographical Terms in Forestry” 159
-
-

УДК 061.75

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.9

**ЛИДЕРУ ЛЕСОУПРАВЛЕНИЯ В РОССИИ,
ПРОФЕССОРУ М.М. ОРЛОВУ – 150 ЛЕТ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ (1867–1932)**

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

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

В истории отечественной лесной науки и практики проф. Михаил Михайлович Орлов, 150-лет со дня рождения которого мы отмечаем в этом году, был и остается лидером в области лесоуправления, лесоустройства и лесной экономики, которые тесно связаны между собой и выступают в виде единого блока, определяющего состояние и перспективы развития лесных дел в России. Если оценивать этот блок, то необходимо отметить, что в нынешней лесной практике федеральная вертикаль лесоуправления находится в расстроенном состоянии; лесоустройство, его важнейший, по словам М.М. Орлова, инструмент, упразднено (как бы за ненадобностью), а «лесная» экономика не соответствует требованиям рыночной экономики и довольствуется административными решениями (типа «арендной платы», «субвенций»), ничего общего с ней не имеющими.

Вот почему труды М.М. Орлова сохраняют историческую ценность и дают нам возможность понять, с чего надо начинать, чтобы восстановить основательно разрушенное. А то, что это придется делать, очевидно для любого профессионала.

За последние десятилетия удалось при поддержке руководства Рослесхоза переиздать его основные труды:

- Лесоуправление, как исполнение лесоустроительного планирования. М.: Лесн. пром-сть, 2006. 480 с. (ранее опубликовано в 1930 г.);

- Лесоустройство: учеб. [в 3 т.]. М.: Лесн. пром-сть, 2006–2008.

Т. I: Элементы лесного хозяйства. 320 с. (ранее опубликовано в 1927 г.).

Т. II: Подготовка планирования лесного хозяйства. 560 с. (ранее опубликовано в 1928 г.).

В последний том вошла его работа, относящаяся к лесоустройству, – «Леса водоохранные, защитные и лесопарки. Устройство и ведения хозяйства» (впервые опубликована после его смерти в 1983 г.);

- Основные направления организации лесного хозяйства. М.: Вектор–ТИС, 2009. 400 с.

В эту книгу включены следующие работы:

Тарашкевич А.И. 40-летний юбилей проф. М.М. Орлова (ранее опубликована в журнале «Лесн. хоз-во и лесн. пром-сть» за 1928 г., № 8-9(55–57), с. 102–106);

Учение о лесном хозяйстве, его развитие, методы и задачи (вступительная лекция, прочитанная проф. М.М. Орловым 17 сент. 1894 г. в Ново-Александринском институте сельского хозяйства и лесоводства (ранее опубликована в «Лесн. журн.» за 1895 г., вып. 3);

Очерки по организации лесного опытного дела (ранее опубликована в Санкт-Петербурге в 1915 г.);

Нужды русского лесного хозяйства (ранее опубликована в Санкт-Петербурге в 1906 г.).

К перечисленным выше работам нами были подготовлены вступительные статьи с анализом основных положений и оценкой их значимости применительно к современной практике. Конечно, эти работы не исчерпывают широкий круг исследований М.М. Орлова, но дают возможность представить главные направления его творческой деятельности.

Обратимся к биографии этого выдающегося ученого, сыгравшего весьма заметную роль в развитии лесного хозяйства, лесоустройства, лесохозяйственного образования и лесоводственной науки в России.

Михаил Михайлович родился 30 сентября (по старому стилю) 1867 г. в г. Ельце Орловской губернии. Как старший сын в небогатой многодетной семье, он вынужден был сочетать учебу с трудовой деятельностью, подрабатывая репетиторством. С 1877 по 1884 г. учился в Орловском реальном училище, блестяще окончив его, поступил в Лесной Императорский институт (ныне Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет – СПбГЛТУ им. С.М. Кирова) – старейшее высшее учебное заведение лесного профиля в стране и мире, отметившее в 2013 г. свое 210-летие.

После окончания института в 1888 г. со званием ученого лесоведа I разряда был направлен на работу помощником лесничего Лисинского учебно-опытного лесничества, преподавал в Лесной школе. В 1889 г. избран стипендиатом высшего оклада – аспирантом на кафедру лесоустройства Лесного института, которую тогда возглавлял основатель отечественного лесоустройства, проф. А.Ф. Рудзкий. В 1890 г. М.М. Орлова командировали на 2 года за границу для изучения передового опыта лесного хозяйства Германии, Франции, Швейцарии и Австро-Венгрии. По возвращении (с 1892 по 1894 г.) работал начальником лесоустроительной партии в Лесном департаменте Министерства государственных имуществ. В возрасте 27 лет назначен адъюнкт-профессором Ново-Александровского института сельского хозяйства и лесоводства, которым руководил всемирно известный ученый В.В. Докучаев. После смерти своего учителя проф. А.Ф. Рудзкого (с 1901 и до своей кончины в 1932 г.) Михаил Михайлович возглавлял кафедру лесоустройства Лесотехнической академии (ЛТА). Скончался 25 декабря 1932 г.

Руководство кафедрой лесоустройства он сочетал и с другими видами деятельности. Например, с 1904 по 1907 г. был официальным помощником директора Лесного института, с 1907 г. – его директором, с 1924 г. – первым деканом лесохозяйственного факультета. Через год он уже председатель Лесного ученого комитета при Центральном управлении лесами Наркомзема РСФСР, определявшего научно-техническую политику, проводившего экспертизу лесоустроительных проектов и представлявшего перспективные планы использования лесов и ведения лесного хозяйства в них. В его подчинении находилось 12 учебно-опытных лесничеств, переданных Лесному институту.

За свои заслуги М.М. Орлов был удостоен многих почетных званий и наград. Царское правительство пожаловало ему чин действительного статского советника, что давало возможность получить статус дворянина. При советской власти он был удостоен звания Героя Труда. В 1925 г. Наркомпрос присвоил ему ученое звание профессора не по отдельной дисциплине, а в целом по лесному хозяйству, в 1928 г. – звание заслуженного деятеля науки и техники РСФСР.

М.М. Орлов – ученый широкого диапазона. Его труды охватывали лесоводство, лесную таксацию, лесоустройство, лесную экономику, лесоправление, государственную лесную политику, лесное законодательство. Он самостоятельно овладел

английским, немецким, французским языками, что позволяло ему следить за потоком информации по специальным журналам, издаваемым в Европе и Америке, анализировать, обобщать отечественный и зарубежный опыт развития лесной науки и практики. Он представлял собою весьма активную многостороннюю творческую личность, пользующуюся большим авторитетом как среди ученых и практиков, так и среди студентов Лесного института, которые, по словам акад. И.С. Мелехова, слушавшего лекции М.М. Орлова, за глаза называли его «тузом козырным».

В данной статье немислимо охватить все стороны его обширной научной деятельности. Посильно и целесообразно акцентировать внимание на главном, стержневом направлении – лесоуправлении, составными частями которого являются и лесоустройство, и лесная экономика, поскольку во все времена именно эта сфера в стране была самой слабой и наиболее уязвимой, что отражалось на развитии отечественного лесного сектора экономики. При этом необходимо подчеркнуть значимость всех видов его деятельности для лесной науки и практики, особенно на переломных этапах развития страны.

Управление в понятийном отношении во всех сферах жизнедеятельности общества и человечества в целом имеет первостепенное значение, ибо системный кризис, который принимает мировой масштаб, можно объяснить прежде всего кризисом управления. В докладе Римского клуба особо подчеркивалось: «...объяснение того, что многие мировые проблемы заведены в тупик, заключается в плохом управлении»¹.

Науку в области управления еще пока преждевременно считать сформировавшейся. Даже в основных трудах отмечается, что управление – это «синтез науки, искусства и опыта»².

Проф. М.М. Орлов оставил нам в наследство капитальный труд «Лесоуправление...», опубликованный в 1930 г.³ и переизданный благодаря поддержке Рослесхоза в 2006 г.¹ По мнению М.М. Орлова, «...из всех отраслей знания лесоуправление является наименее разработанной», а потому нередко можно встретить мнение, что «лесоуправление есть не более как сборник действующих по лесной части законоположений и циркуляров, тогда как в действительности теория лесоуправления должна стремиться к установлению общих принципов и положений, объясняющих и предопределяющих практику лесного хозяйства»⁴. К сожалению, до сих пор труды в области лесоуправления также сводятся в основном к комментариям законоположений и циркуляров, часто меняющихся при очередных реформах.

Для перехода к лесоустройству как составной части лесоуправления следует отметить главную специфику последнего – беспрецедентно длительный период лесовыращивания, измеряемый для условий нашего умеренного климата десятками и даже сотнями лет. Эта специфика накладывает неизгладимый отпечаток на организацию, экономику и законодательство в области управления лесами и обязывает сравнивать размер пользования ресурсами леса со сроками и масштабами их воспроизвод-

¹Кинг А., Шнайдер Б. Первая глобальная революция. Доклад Римского клуба. М.: Прогресс, 1991. 340 с.

²Мескон М., Альберт М., Хедоури Ф. Основы менеджмента: пер. с англ. М.: Дело, 1992. 701 с.

³Орлов М.М., проф. Лесоуправление, как исполнение лесоустроительного планирования. Л.: Изд. ред. журн. «Лесн. хоз-во и лесн. пром-сть», 1930. 491 с.

⁴Орлов М.М. Лесоуправление, как исполнение лесоустроительного планирования. М.: Лесн. пром-сть, 2006. 480 с.

ства. Лесоустройство и зародилось исходя из требования организации и планирования непрерывного неистощительного пользования лесом (ННПЛ) и являлось гарантом его исполнения.

Но лесоустройство, как и лесоправление в целом, не могло обходиться без лесной экономики, назначение которой сводилось к определению наиболее эффективных путей и средств достижения поставленных целей, обеспечивающих наибольшую в данных конкретных условиях доходность лесов при возможных наименьших затратах. Но и сама лесная экономика не могла обходиться без лесоустройства, учитывая его методологию стратегического лесного планирования применительно к характеру устраиваемых объектов. Об этом писал М.М. Орлов, приобщая мнение и представителей немецкого лесоустройства того времени: «Пусть лесоводство развивается в каком угодно направлении, ... но для экономики постоянного хозяйства ему никогда не обойтись без лесоустройства»⁵.

Названные выше три дисциплины исторически выступали в тесном взаимодействии между собою и при нормальном положении лесных дел в стране в условиях регулируемой рыночной экономики должны бы воплощаться в лесных планах на разных уровнях управления. Что же этому мешало?

Дело в том, что система управления лесами в стране зависела от политических и экономических систем, установившихся на каждом из этапов ее развития. К несчастью, на протяжении последнего столетия страна пережила два великих разнонаправленных перелома, связанных с революциями 1917 г. и контрреволюцией 90-х гг. прошлого века, которые разделили ее историю на три периода – дореволюционный, советский и постсоветский, кардинально различающихся условиями и характером социально-экономического развития. При этом смена перечисленных периодов сопровождалась полной перестройкой всей институциональной структуры управления страной, в том числе и нормативно-правовой базы лесоправления. Только за 1993–2006 гг. сменились три Лесных кодекса РФ, преемственно не связанных между собою. При этом последний из них оказался наиболее разрушительным для всей системы лесоправления, упразднив лесоустройство. Для характеристики общей ситуации, сложившейся на протяжении прошлого столетия в области лесоправления, вполне можно использовать оценку, данную ранее М.М. Орловым: «...ничто так не вредно в лесном хозяйстве, как метание из стороны в сторону, постоянная смена направлений, которая приводит к топтанию на месте, к потере времени и к полному бессилию»⁵.

Следует иметь в виду, что лесное хозяйство, как отрасль материального производства, функционально представляет собой главное средство управления лесами на практике, посредством хозяйственных воздействий через планируемые мероприятия формируя леса определенной структуры для получения соответствующих спросу ресурсов и полезностей леса. Однако исторически в России доминировали лесозаготовительные интересы, подавляя лесное хозяйство, которое финансировалось по остаточному принципу и не обеспечивало качественное восстановление вырубленных лесов, что приводило к массовой смене хозяйственно ценных пород малоценными и истощению рентабельных ресурсов, подрывало и непрерывно сужало сырьевую базу лесопромышленного комплекса и приводило к потере его конкурентоспособности и продолжающимся банкротствам лесопильно-деревообрабатывающих предприятий, в том числе и экспортного направления.

⁵Орлов М.М. Очерки лесоустройства в его современной практике. Л.; М.: Изд. Нар. комиссариата земледелия «Новая деревня», 1924. 304 с.

Проф. М.М. Орлов особо подчеркивал, что «лес представляется предметом сложным», а потому управление им требует не только больших знаний, но и опыта. Тем более, поскольку лес – явление географическое, то и организация лесного хозяйства, как средства управления лесами на практике, должна строиться с учетом зонально-типологического разнообразия лесов, а также местных природных и экономических условий. К сожалению, на государственном уровне обычно не было должного понимания значения и сложности управления лесами, а поскольку оно в большинстве случаев реализовывалось непрофильными ведомствами, то «при столкновении интересов с лесами последние... обречены терпеть поражение, так как трудно освободиться от той предвзятости, что у нас лесов много, что они сами растут, а если в них и неблагоприятно, то с этим придется считаться не сегодня и не нам, а лишь в будущем и тем, кто придет после нас»⁴. Данная точка зрения относительно управления лесами по существу сопровождает нас до сих пор.

Изменилось ли что-либо к настоящему времени? Приведем цитаты из выступления Президента России В.В. Путина на состоявшемся в 2013 г. в Улан-Удэ заседании Президиума Госсовета⁶: «Наша сегодняшняя дискуссия в несколько часов показала, что, к сожалению, ни государственные органы, ни хозяйствующие субъекты, явно на это высокое звание хозяина леса пока не тянут». «Есть и другие данные, которые говорят о том, что отрасль в целом находится в критическом состоянии». «Очевидно, что должностные лица, которые отвечают за развитие лесного сектора, не справляются с поставленными перед ними задачами».

Нынешнее состояние лесных дел в стране усугубляется тем, что федеральный орган управления лесами лишен полномочий управления лесами, находящимися в государственной федеральной собственности, а региональные органы власти в лице глав администраций субъектов РФ не выполняют в полной мере переданные им полномочия. К тому же обесценено практическое значение подчиненных им местных территориальных органов – лесничеств, которые лишены полномочий управления лесами на этом ответственном уровне, где и сосредоточены столкновения государственных и частных интересов (арендаторов и другого рода лесопользователей). Упорядочить лесные отношения могла бы рациональная организация государственно-частного партнерства. Но в действительности оно лишь декларируется. На практике же в лесопользовании доминируют интересы частного сектора. Монополия арендаторов, на которых приходится около 80 % общего объема заготовки древесины в стране, позволяет им практически по своему усмотрению формировать так называемые проекты освоения лесов, вырубать в первоочередном порядке самые рентабельные ресурсы леса, при этом присваивать принадлежащую государству, как собственнику лесов, лесную ренту, ограничиваться простейшими мерами лесовозобновления, не обеспечивающими должное качество лесовосстановления на вырубках, перекладывая на государство все остальные мероприятия, включая охрану лесов от пожаров, защиту их от вредителей и болезней, а также от лесонарушений. Экспертизы проектов и деклараций об их исполнении носят в основном формальный характер вследствие слабости остатков лесохозяйственных органов после проведенных реформ и неоднократных сокращений.

Что же касается надзорной функции усеченного по полномочиям федерального органа управления лесами, то за последнее десятилетие она так и не смогла обеспечить исполнение полномочий по управлению лесами на региональном и местном уровнях.

⁶Путин В.В. Лес нужно спасать // Лесн. газ. 2013. 20 апр. (№ 30). С. 1–2.

Крупные корпорации скандинавских стран, в отличие от наших монопольных арендаторов, которым переданы леса для заготовки древесины, удовлетворяют свои потребности в основном путем закупки ее на торгах, на корню или в виде уже заготовленных лесоматериалов, сосредотачивая свои усилия в области переработки. При этом они добиваются значительных успехов, что не удается нашим арендаторам. Государственные органы лесопользования скандинавских стран и частные лесовладельцы не поступают своими экономическими интересами в угоду лесопользователям, как это наблюдается в условиях псевдорыночной лесной экономики в нынешней России. Например, государственные органы управления лесами Финляндии, прибалтийских стран, Польши продают древесину на торгах не только на корню, но и в виде лесоматериалов, при этом привлекают мелкий и средний бизнес, частных лесовладельцев, готовых вступить в кооперацию. На такой основе растет доходность лесов и повышается рентабельность лесного хозяйства, о чем нам приходится только мечтать.

Заметим, что в дореволюционной России нынешняя форма арендных отношений на заготовке древесины не допускалась, так как полагали, что она приводит к истощению лесов.

Для упорядочивания лесопользования и лесного хозяйства в стране необходимо прежде всего восстановить лесопользование, начиная с федерального органа, и нормализовать распределение полномочий по федеральной вертикали, придав им действенный характер. Это отмечал еще и проф. М.М. Орлов в своем труде «Лесопользование...»: «Первое возражение указывает обыкновенно на то, что министерства лесов не было и нет». «Далее на приведенное возражение следует поставить вопрос: а разве где-нибудь существует такое обширное своеобразное хозяйство, какое мы имеем в СССР и РСФСР?». Леса России, занимая четверть мирового лесного покрова, «являются уже мировым экономическим фактором и объектом самого крупного лесного хозяйства на земном шаре». «Если такое лесное хозяйство единственное в своем роде, то и строй управления им должен быть особенным, достойным быть наркоматом лесов»⁴.

Но как прагматик он допускал при условии вхождения управления лесами в состав других ведомств хотя бы относительной самостоятельности в финансовом отношении, а также при подборе и расстановке кадров. Заметим, что последнее имело место в дореволюционной России, когда благодаря министру госимущества графу П.Д. Киселеву Лесной департамент в составе Министерства госимущества обладал по названному выше правам определенной самостоятельностью, что способствовало успехам департамента в деле лесопользования.

К этому следует добавить, что мечта М.М. Орлова о создании самостоятельного Министерства лесного хозяйства СССР была реализована в 1947 г., в его составе было возрождено и лесостроительство, успехи деятельности которых по многим направлениям многократно превзошли все то, что было сделано в дореволюционной России, не говоря уже о постсоветском периоде.

Государственное лесопользование М.М. Орлов рассматривал как иерархическую систему, в которой все уровни управления (от центрального до местного) взаимосвязаны и согласованы и не ограничиваются только органами управления, их структурой, составом персонала и функциями, но также характеризуются порядком организации соответствующих действий, связанных с выполнением определенных мероприятий по управлению. При этом диапазон функций государственного управления, по его мнению, может быть самым различным: от объединения хозяйственных и управленческих функций до сужения их к последним. Он считал, что наиболее оптимальный вариант, когда местный орган управления отпускает лес на торгах не на корню, а готовыми

лесоматериалами, полагая, что рубку леса, с которой начинается лесное хозяйство, лучшим образом по всем правилам могут совершать только квалифицированные кадры под руководством лесничего и его персонала. Заметим, что такую модель и сегодня имеет государственная лесная служба Финляндии на местном уровне.

М.М. Орлов подробно рассматривал не только структуру органов на каждом из трех уровней управления, но и порядок исполнения ими функций. В составе федеральной вертикали управления он подчеркивал особую роль местного органа управления – лесничества, которое является «основной единицей управления лесным хозяйством». При этом весьма ответственна роль лесничего, которому «вверяется управление народным имуществом огромной ценности. Судьба этого имущества... зависит от лесничего». «В интересах лесного хозяйства удерживать хороших лесничих возможно дольше в одних и тех же лесничествах. Поэтому необходимо обеспечивать возможно более независимое служебное положение лесничего, создавать для него хорошие условия жизни и работы в лесничестве и надлежащим образом оплачивать его труд». Михаил Милайлович делает вывод, что «лесничий является центром и душой всей системы лесоправления»⁴.

Болевой вопрос, который хронически так и остался не решенным. Каким должен быть лесничий – центральная фигура лесоправления? Быть ли ему хозяином во вверенных лесах, заинтересованным в их улучшении и повышении их доходности, или чиновником, строго следующим всем инструкциям и законоположениям, ограждающим его от злоупотреблений. «Отсутствие доверия к лесничему вызвало сложную канцелярскую систему, превратив лесничего-хозяина в лесного чиновника, такой порядок вещей до того укоренился, что в исправности канцелярии лесничий стал видеть конечную цель своего назначения». «Но нам известно по опыту, что сложная канцелярская система, безупречная в теории, для ловких людей служит и служила весьма удобной ширмой, за которой скрывались не совсем хорошие дела...»⁴. Усугубляли положение дел и низкая оплата труда, и частые перемещения кадров, не говоря уже об общем отношении государства к лесам и лесному хозяйству. Итак, все эти вопросы остаются в современной повестке дня и требуют своего разрешения.

Региональные органы управления лесами – связующее звено между центральными и местными органами управления. Распределение полномочий между этими тремя уровнями зависит от ряда факторов. «Чем центр удаленнее от местных органов, чем они многочисленнее, тем большая доля распорядительных функций передается региональным органам, например Областному лесному управлению на Дальнем Востоке»⁴. При большом разнообразии распределения компетенций между органами лесоправления рекомендуется руководствоваться в каждом отдельном случае целесообразным соотношением направлений (принципов), характеризующих централизацией и децентрализацией лесоправления.

«Принцип централизации в лесном управлении выражается, возможно, большим сосредоточением распорядительной деятельности в центральном органе, представляя районным (региональным) органам передаточные и наблюдательные функции и рассматривая местные органы как исполнительные механизмы.

Принцип децентрализации в лесном управлении требует передачи части распорядительных функций районным и местным органам, которые во многих случаях могут лучше, чем центр, учесть все обстоятельства дела и скорее решить вопрос. Таким образом, за центральным органом остаются лишь самые важные и общие распоряжения». «В каждую систему организации лесоправления должны входить оба указанных принципа..., поэтому все наблюдаемые в жизни системы лесоправления по существу являются смешанными»⁴.

По мнению М.М. Орлова, в каждой системе лесоправления должны найти себе приложение и два других принципа: «единоначалие и коллегиальность управления». «Коллегиальность решения дел обеспечивает разносторонность рассмотрения, устраняет... возможность пристрастного отношения к делу»⁴.

Однако не только в профессиональном сообществе, но и в обществе в целом зреет консенсус, что пора не только критически оценивать прошлое, но и использовать все лучшее, что было в нем, не допуская огульного отрицания только потому, что это было в прошлом и при другой политической системе⁷. В этом отношении заслуживают положительной оценки послевоенные 50–60-е гг., когда произошел апогей развития лесной науки и в целом лесного сектора экономики. Организация в 1947 г. Министерства лесного хозяйства СССР, как и Министерства лесной, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности дало мощный толчок и обеспечило стратегический прорыв в развитии лесной науки и практики. Именно в эти годы создавалось фундаментальное наследие, за счет которого продолжают еще жить, но уже при другой политической системе, инфраструктурные объекты.

Возникли целая сеть головных и региональных лесных научных учреждений по отдельным отраслям лесного сектора, лесные опытные станции и учебно-опытные предприятия, конструкторские и проектные организации, заводы лесного машиностроения. Расширилась сеть высших, среднетехнических и профессиональных училищ в сфере подготовки кадров за счет бюджетного финансирования с обеспечением всех необходимых условий для последующего их трудоустройства. В составе Минлесхоза СССР было создано всесоюзное объединение «Леспроект» с подчиненной ему сетью региональных филиалов, а также проектная организация «Союзгипролесхоз». В составе Минлеспрома СССР (названия его во времени варьировали) также были созданы всесоюзные проектные организации – «Гипробум», «Гипролестранс», «Гипродрев» с соответствующими филиалами. Перечисленные организации обеспечивали не только широкомасштабный учет лесов, но и стратегическое планирование (генпланы, генсхемы) и в их рамках размещение и проектирование лесных предприятий, включая крупные лесопромышленные комплексы. Именно названные выше меры в рамках управления лесами и лесными отраслями обеспечили техническое перевооружение и индустриализацию всех лесных производств. Можно без преувеличения сказать, что развитие экономики в 1950–1980-е гг. создало тот задел, за счет которого еще продолжает жить по инерции страна, окунувшаяся в затяжной системный кризис.

Что стало его причиной? Главной причиной этого кризиса было и остается умаление роли государства в сфере управления младореформаторами, которые отводили ему, по их выражению, роль «ночного сторожа». При этом страна стала сырьевым придатком для «золотого миллиарда» западной цивилизации.

Однако сами промышленно развитые страны живут в экономической системе смешанного типа, в которой рыночная экономика регулируется системой государственных мер, встроенных в механизм государственного управления. При этом государство и органы управления им выступают в роли инициатора, организатора, консолидатора и координатора усилий всех субъектов общественных отношений, особенно в системе стратегического планирования, в том числе и в рассматриваемой области – в лесном

⁷Соборное слово. Из обращения XVIII Всемирного русского народного собора // Лит. газ. 2014. 19–25 нояб., № 46(6487). С. 3.

секторе, лесоуправлении и лесоустройстве. Известно, что планирование – это незаменимая процедура подготовки стратегически значимых решений управления. Именно такой подход и позволил Финляндии, США и ряду других ныне промышленно развитых стран совершить стратегический прорыв в улучшении лесов и в развитии глубокой переработки древесного сырья, а также создать современное лесное машиностроение. Заметим, что ключевым звеном в этих преобразованиях являлось стратегическое планирование, в том числе лесоустройство, при ведущей роли государства.

Приведенное выше отступление было необходимо потому, что оно лишь подтверждает правоту подхода и взглядов проф. М.М. Орлова на управление лесами и роль государства в этой области. Передовой отечественный и зарубежный опыт наглядно свидетельствует, что именно в данном направлении надо искать выход из нынешнего кризиса.

В тесной связи с лесоуправлением М.М. Орлов рассматривал значение и роль лесоустройства, как его важнейшего инструмента. В связи с долгосрочной спецификой лесоуправления роль лесоустройства сводится к стратегическому планированию лесного хозяйства для организации ННПЛ и извлечения постоянного (из года в год) наибольшего лесного дохода. Этот принцип постоянства закреплен лесным законодательством и с 1992 г. возведен в качестве международного постулата в ранг главного требования – устойчивого использования и управления лесами. В нашу задачу не входил подробный анализ и обзор трудов М.М. Орлова в области лесоустройства. Ограничимся лишь общими положениями.

Исторический опыт развития показал, что лесоустройство должно быть представлено специализированной государственной организацией, подчиненной непосредственно центральному, т. е. федеральному, органу управления лесами, являться проводником государственной лесной политики, участвовать непосредственно в ее формировании и реализации с учетом не только общегосударственных целей, но и различий природных и экономических условий в разных частях страны и всего зонально-типологического разнообразия лесов.

Для того, чтобы осуществлять свое назначение лесоустройство включает: периодический (в среднем примерно через каждые 10 лет) учет лесов (наземную лесную таксацию) для определения не только объема и качества ресурсов, но и назначения необходимых хозяйственных мероприятий с одновременной оценкой прошлого ведения хозяйства и установлением корректировок на будущее; планирование и размещение лесохозяйственных мероприятий, включая способы рубок и лесовосстановления, на очередное десятилетие; определение размера ННПЛ на основе плана лесного хозяйства с оценкой последствий принимаемых решений на протяжении оборота рубки; обоснование размещения лесосек с оценкой их в рыночных ценах, а также доходов и расходов и механизма реализации плана.

В таком предназначении лесоустройство для лесоуправления является вперёдсмотрящим. Недаром М.М. Орлов подчеркивал, что «лесоустройство без лесоуправления мертво, лесоуправление без лесоустройства слепо»⁴.

Для лесоустройства важно, чтобы формируемые им планы были экономически обоснованы. В расходной части таких планов необходимо обязательно разделять текущие затраты и капитальные вложения, учитывая их различное функциональное назначение: первые поддерживают соответствующий уровень «лесного капитала» (простое воспроизводство), вторые расширяют этот капитал (расширенное воспроизводство).

При сопоставлении доходов и затрат следует устанавливать ожидаемый чистый доход, ответив на вопрос, является ли он лесной рентой или в состав его входит и часть

основного древесного капитала в случае превышения неистощительного размера рубки. При этом и возрасты спелости, и обороты рубки должны быть экономически обоснованы на основе максимальной величины лесной ренты.

Следует отметить, что на переходных этапах после форс-мажорных событий лесоустройство под разными предлогами отменялось как в теории, так и на практике. Это наблюдалось и с 1930-х гг. до 1947 г., и с 90-х гг. прошлого века до настоящего времени. При этом приводились самые противоположные доводы, но они своим следствием имели одинаковые разрушительные результаты.

В 1930-х гг. защитники лесоустройства и его главного принципа неистощительного лесопользования подвергались огульной критике как носители отживших буржуазных взглядов. Причем огонь такой незаслуженной критики был сосредоточен на главных корифеях отечественной лесной науки профессорах Г.Ф. Морозове и М.М. Орлове. Первого уже не было в живых, второй не избежал ее и был загравлен за рабочим столом в 1932 г. Лишь после конференции в 1967 г., посвященной 100-летию со дня его рождения, он был реабилитирован. Некоторые из его оппонентов признали еще при своей жизни его правоту, другие ушли в молчании и молчанием будет память о них.

Что касается текущего периода, то при монополии власти неолибералов – наследников младореформаторов – принята тактика игнорирования лесоустройства, умаления роли государственного лесопользования на законодательном уровне под видом «не кошмарить бизнес», а по существу допуская беспредел в пользовании лесами, что позволило одному из президентов Финляндии – госпоже Т. Халонен – назвать это «дикой экономической свободой».

Для упорядочения лесопользования в России следует ограничить существующую монополию арендных отношений районами, где предложение на ресурсы леса превышает спрос на них, т. е. там, где отсутствует конкуренция, а где спрос превышает предложение лесных ресурсов, необходимо использовать форму купли-продажи на торгах малому и среднему бизнесу, что поднимет занятость населения, повысит его платежеспособность, даст толчок для более интенсивного развития лесопользования и лесного хозяйства в стране.

Необходимо обратить внимание и на противоречивую сущность нынешней формы аренды лесов для заготовки древесины, которую отмечал в начале этого процесса лидер экономистов лесопромышленного комплекса, доктор экономических наук, проф. Т.С. Лобовиков, зав. кафедрой экономики лесной промышленности ЛТА (СПбГЛТУ). Вот что он писал в 1989 г., когда готовился указ «Об аренде лесов» еще в рамках СССР⁸: «Аренда лесов лесозаготовителями – опасная форма». «Что такое аренда? Это договорные отношения, в которых собственник долгосрочно действующих средств производства передает арендатору право инициативного использования и управления этими средствами, гарантируя себе вместо этих прав получение от арендатора твердого дохода». «Долгосрочно действующие средства производства – это средства труда: орудия труда, сооружения и т. п. Предметы труда не могут быть объектом аренды уже только потому, что они используются в процессе производства не долговременно и многократно, а однократно, одновременно, потребляются в каждом акте производства, полностью входят в стоимость продукта и в качестве таковой покидают вместе с продуктом сферу, в которой потреблены». (К предметам труда он относил древесину, назначаемые в рубку.) «Экономический же конкретный интерес лесозаготовителя, к великому сожалению, противостоит интересам лесовыращивания. Ему важнее брать

⁸Лобовиков Т.С. Аренды лесов: за и против // Лесн. пром-сть. 1989. 5 окт.

из леса только лучшее и бросать все, что похуже, выгоднее рубить побольше и поближе, выгоднее всячески снижать затраты, а не увеличивать их исполнением лесовосстановительных работ, выгоднее расходовать прибыль на решение своих неотложных социальных задач, на материальное поощрение коллектива, а не на восстановление и реконструкцию лесов для будущих поколений».

В своих неоднократных обращениях к руководителям ведомств Т.С. Лобовиков настойчиво доказывал, что совершена ошибка и со временем наступит прозрение, когда-то нарыв прорвется, что будет дорого стоить народу.

Следует заметить, что и проф. М.М. Орлов с сомнением относился к договорным отношениям в лесопользовании⁴.

В заключение обратимся еще раз к юбилейной дате – 150-летию со дня рождения, которая относится не только к проф. М.М. Орлову, но и к другому корифею – проф. Г.Ф. Морозову. Оба они не только работали в одно и то же время в ЛТА, но при этом тесно сотрудничали. Один из них был создателем учения о лесе, другой – о лесном хозяйстве и лесопользовании. Выше мы уже писали о их сотрудничестве и о нелегкой доле в конце их жизни⁹.

Здесь же следует коснуться бытующего еще недоразумения, будто бы эти классики в чем-то противостояли друг другу, в частности по вопросам типологии леса и применения ее в лесном хозяйстве.

Вот что пишет автор подробного жизнеописания Г.Ф. Морозова¹⁰ о взаимоотношениях этих ученых в годы их работы в ЛТА. 9 апреля 1907 г. на должность директора лесного института «был избран и высочайше утвержден профессор и член Лесного специального комитета статский советник М.М. Орлов», «...10 апреля члены Совета (института) единогласно избрали помощником директора статского советника проф. Г.Ф. Морозова». При отъезде в периодические командировки и в отпуск управление институтом М.М. Орлов передавал Г.Ф. Морозову. «Ни один документ, имеющийся в деле как М.М. Орлова, так и в деле Г.Ф. Морозова, даже косвенно на какие-либо распри между ними не указывает». «Наоборот, М.М. Орлов всячески хлопотет об оценке заслуг своего помощника и о его лечении. С представления М.М. Орлова 13 апреля 1908 г. Высочайшим приказом № 21 по гражданскому ведомству Г.Ф. Морозов был награжден за отлично-усердную службу орденом Св. Анны 2-й степени. А в конце мая того же года М.М. Орлов сообщал Лесному департаменту, что Совет института, заслушав рапорт Г.Ф. Морозова о необходимости для него предписанного врачами заграничного лечения, постановил ходатайствовать... о разрешении проф. Г.Ф. Морозову двухмесячного отпуска (с 1 июня) за границу и о пособии на лечение. Это ходатайство было немедленно удовлетворено». Эти ученые тесно сотрудничали при организации и постановке лесного опытного дела в России. «Здесь мы имеем еще одно документальное подтверждение тому, что М.М. Орлов не только не противостоял Георгию Федоровичу, но и открыто отстаивал его идеи, защищая от разного рода возражений, не исключая и нападок...».

Нелепо представлять М.М. Орлова противником типологии леса, разработке которой Г.Ф. Морозов придавал большое значение, полагая, что «зонально-типологическое начало» должно быть основой организации и планирования лесного хозяйства. Не возражая против такой постановки, М.М. Орлов считал, что в этих целях надо усилить хозяйственное значение типов леса. Этот вопрос в то время широко

⁹Моисеев Н.А. Обогавшие свое время // Лесн. газ. 2012. 27 нояб., № 91 (10341). С. 1–2.

¹⁰Калужный Г.П. Жизнь Г.Ф. Морозова. М.: Энцикл. сел и деревень, 2004. С. 331–332, 273, 349.

обсуждался многими видными учеными и практиками-лесоводами, в том числе и на IX Всероссийском съезде лесовладельцев и лесохозяев в августе 1909 г., где был прочитан «полный полемических выпадов доклад» известного лесовода Д.М. Кравчинского «О типах насаждений и их хозяйственном значении». При этом ни со стороны М.М. Орлова, ни со стороны Д.М. Кравчинского выпадов по отношению к Г.Ф. Морозову по данному вопросу не было. Г.Ф. Морозов при ознакомлении с этим докладом не возражал против его точки зрения о хозяйственном значении типов лесов в практике лесного хозяйства¹⁰.

К сожалению, ряд рекомендаций наших корифеев, в том числе и об использовании типов леса при организации и планировании лесного хозяйства, так до сих пор и не нашли должного применения на практике.

Следует напомнить, что М.М. Орлов посвятил свой труд «Лесоустройство» памяти своих учителей и предшественников – Ф.К. Арнольду и А.Ф. Рудзкому, используя в предисловии в качестве афоризма слова непобедимого полководца А.В. Суворова, что «передний заднему мост», отмечая с благодарностью их уроки.

Нелишне напомнить и значимые слова, высказанные президентом России В.В. Путиным на открытии Военно-исторического общества, имеющие отношение к обсуждаемым проблемам: «Неисчерпаемых ресурсов нет... но главный ресурс России – это историческая память» (канал ТВЦ, 14.03.2013).

Двигаясь вперед, нельзя забывать прошлое и весь накопленный в нем потенциал, нужно использовать все лучшее, что уже было апробировано на практике, и развивать его дальше с учетом комплекса факторов и проблем, которые предстоит решать. Именно в этом и заключается смысл статьи, посвященной корифею лесной науки и практики проф. М.М. Орлову.

UDC 061.75

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.9

**Leader of Forest Management in Russia, Professor M.M. Orlov
(on the 150th Anniversary of His Birth) (1867–1932)**

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



УДК 630*182

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.21

ОСОБЕННОСТИ ЛИПНЯКОВ НА ТЕРРИТОРИИ ЛИСИНСКОГО УЧАСТКОВОГО ЛЕСНИЧЕСТВА УЧЕБНО-ОПЫТНОГО ЛЕСНИЧЕСТВА

А.А. Добровольский, канд. с.-х. наук, доц.

Л.С. Богданова, канд. с.-х. наук, доц.

В.Ю. Нешатаев, канд. биол. наук, доц.

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

e-mail: alexander-83@yandex.ru, lidun80@mail.ru, vn1872@yandex.ru

Объект исследования – липняки – расположен в Ленинградской области. Исследования проведены на двух постоянных пробных площадях, заложенных авторами в мае 2013 г. в квартале 71 Лисинского участкового лесничества Учебно-опытного лесничества Ленинградской области. Цель исследований – получение комплексной характеристики биогеоценозов в насаждениях, представленных липой, являющейся редкой реликтовой формацией и находящейся на севере своего ареала. Она – один из объектов особой охраны заказника «Лисинский». Задачи исследования включали проведение таксации и геоботанического описания на постоянных пробных площадях, а также изучение почвенного покрова. Для получения морфологических и агрохимических характеристик почв было заложено два почвенных разреза, по одному на каждой пробной площади, выполнены морфологическое описание и отбор почвенных образцов для исследования агрохимических показателей. В отобранных из каждого генетического горизонта образцах почвы определены: содержание гумуса, актуальная и обменная кислотность (потенциметрически), гидролитическая кислотность и сумма обменных оснований, подвижные формы азота (дисульфифеноловым методом), калия (методом Пейве), фосфора (по Кирсанову). По результатам сплошного перечета насаждений на пробных площадях рассчитаны средние таксационные показатели. Общее состояние насаждений на обследованных территориях оценивается как удовлетворительное (средний балл 2,5 и 2,8). Липовые леса пробных площадей отнесены к дубравнотравной серии типов леса, почвы – к подзолистому типу со слабым развитием подзолообразовательного процесса. По содержанию гумуса в верхнем горизонте почвы отнесены к хорошо обеспеченным, чему способствует опад липы, имеющей

Для цитирования: Добровольский А.А., Богданова Л.С., Нешатаев В.Ю. Особенности липняков на территории Лисинского участкового лесничества Учебно-опытного лесничества // Лесн. журн. 2017. № 5. С. 21–34. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.21

глубокую корневую систему, которая позволяет ей усваивать питательные вещества с большей глубины, где располагаются моренные суглинки, обогащенные карбонатом кальция. Старовозрастные леса рассматриваемого типа находятся в фазе «оконной» динамики. Это означает, что они, по-видимому, могут довольно долго существовать на одном и том же месте, однако липняки являются реликтами теплого Атлантического периода голоцена и их существование все время находится под угрозой смены ельником. Морфологические исследования показали, что на размытом озе формируются подзолистые почвы со слабо выраженным подзолообразовательным процессом ввиду хорошего дренажа песчаных грунтов, которые сформированы на бескарбонатных породах и отличаются низким содержанием подвижных форм элементов минерального питания, что характерно для песков и супесей. Результаты нашего исследования показали, что невысокие значения обеспеченности почв минеральными элементами питания являются недостаточными для успешного произрастания липы.

Ключевые слова: биоеценоз, липняк, старовозрастные леса, древостой широколиственных пород, Лисинское участковое лесничество, морфологические и агрохимические характеристики почв.

Введение

На территории Лисинского участкового лесничества, как и в целом в Ленинградской области, липняки из *Tilia cordata* являются редкой реликтовой формацией, находящейся на севере своего ареала [5, 17, 18]. Преобладание липы характерно для заключительных стадий динамики лесной растительности в условиях мягкого и относительно теплого климата, позволяющего липе возобновляться под материнским древесным пологом в силу своей высокой теневыносливости [2]. По данным лесоустройства, липняки вместе с дубняками занимают в Ленинградской области менее 2 тыс. га [10]. Они отнесены к биологически ценным лесам, требующим особой охраны на Северо-Западе Российской Федерации (РФ) [2] и во многих странах Евросоюза (ЕС) [20].

Основой работы послужили исследования, проведенные на постоянных пробных площадях (ПП), заложенных авторами в мае 2013 г. в квартале 71 Лисинского участкового лесничества Учебно-опытного лесничества Ленинградской области. По материалам лесоустройства 2004 г., в Лисинском лесхозе (теперь – участковое лесничество) липовые леса занимали 5,5 га. На его территории на основании решения Ленинградского облисполкома от 29.03.1976 г. № 145 «О создании заказников и признании памятниками природы ценных природных объектов на территории Ленинградской области» и постановления правительства Ленинградской области № 494 от 26.12.1996 г. был организован заказник для сохранения лесного массива старейшей (с 1805 г.) базы научных исследований и обучения студентов Санкт-Петербургской государственной лесотехнической академии (ныне университет) им. С.М. Кирова. Одна из задач заказника – охрана липняков как ценного природного объекта.

Липа требовательна к эдафическим условиям, не выносит кислых и сухих почв [17]. В литературе сведения о почвах липняков Ленинградской области и в целом Северо-Запада РФ весьма ограничены.

Первые исследования почвенного покрова в Лисино в 1926–1929 гг. провел А.А. Роде, получивший большой аналитический материал для освещения вопроса о генезисе лесных почв и их гидрологическом режиме [7].

В 1936–1937 гг. И.В. Тюрин и В.В. Пономарева изучали гумус лесных почв в Лисинском лесхозе [7]. В этот же период сотрудники кафедры почвоведения Лесотехнической академии А.С. Маслов, Н.И. Соколова, В.В. Пономарева под руководством и при непосредственном участии И.В. Тюрина исследовали почвенный покров Лисинского лесхоза с составлением почвенной карты в масштабе 1:20 000, одновременным изучением типов леса и проведением всесторонних морфологических и химических анализов. Более глубокие исследования почв Лисино были выполнены в 50-х гг. прошлого столетия группой сотрудников кафедры почвоведения под руководством Н.Л. Благовидова при участии научных сотрудников Г.В. Буркова, А.Л. Кашеева, аспиранта В.Т. Орфаницкой, студента В.А. Семенова [7].

Детальная характеристика почвообразующих пород Лисинского учебно-опытного лесхоза и их влияние на почвообразование, а также классификация и характеристика почв приведены в работах [8, 9].

Однако, несмотря на наличие столь детальных почвенных исследований в Лисинском лесхозе, сведения о почвенных условиях липняков отсутствуют.

Характеристика основных типов леса лесхоза дана И.И. Шишковым и И.Е. Докудовским [12], но в этой публикации подробных сведений о типах липовых лесов лесхоза также нет.

Цель нашего исследования – получение комплексной характеристики биогеоценозов липовых лесов, являющихся одним из объектов особой охраны заказника «Лисинский».

Задачи исследования включали: проведение таксации на постоянных пробных площадях; геоботаническое описание растительности на пробных площадях; закладку почвенных разрезов на пробных площадях; морфологическое описание почв; химические и агрохимические исследования образцов почв.

Объекты и методы исследования

Учебно-опытное лесничество расположено в 50 км к юго-востоку от Санкт-Петербурга, в центральной части Тосненского района Ленинградской области. Компактный лесной массив имеет протяженность с севера на юг 34 км, с запада на восток – 18 км. Лесничество разделено на три участковых лесничества, общая площадь Лисинского участкового лесничества составляет 28 384 га.

Рельеф территории лесничества представляет собой плоскую, слегка волнистую равнину, слабо наклоненную к востоку и юго-востоку в сторону р. Тосно [8, 9]. Абсолютные высоты в пределах лесничества колеблются от 35 до 70 м над уровнем моря. Положительными формами рельефа являются немногочисленные

озы и небольшие плоские холмики, сложенные ледниковыми наносами; их относительная высота – до 2,5 м, поперечник – 100...200 м. В геологическом отношении территория лесничества представляет собой дно озерно-ледникового бассейна с озерными отложениями – ленточными глинами, из-под которых на возвышенных элементах рельефа выступают ледниковые отложения – валунные суглинки. Основные почвообразующие породы – ленточные глины и моренные валунные и безвалунные суглинки. Липняки растут в районе Сютте на флювиогляциальных песках, отложениях оза разной крупности вплоть до гравийной (хрящеватой) смеси [8]. Флювиогляциальные отложения отличаются от окружающих ленточных глин и отложений чисто ледникового происхождения, поскольку имеют округлую форму, сортированы и стратифицированы [25].

Довольно широко распространены на территории лесничества двучленные наносы, когда под небольшим слоем легких грунтов (пески, супеси) залегает мощный слой тяжелых грунтов или наоборот, что в значительной степени влияет на дренаж.

В соответствии с геоботаническим районированием Нечерноземья РФ [1] район исследований расположен в полосе южной тайги Лужского округа Североевропейской таежной провинции. На нормально дренированных суглинках коренным типом леса является ельник кисличный. В лесничестве преобладают еловые леса (34 %), на втором месте – сосняки (28 %), на третьем месте – березняки (23 %). Осинники занимают 14 %, на остальные лесные формации приходится около 1 %.

Климатические и почвенно-гидрологические особенности территории способствуют обильному поверхностному увлажнению почв, которые на 2/3 площади лесничества представлены недостаточно и слабо дренированными и болотными типами земель [9]. На этих местообитаниях произрастают ельники и сосняки сфагновые и долгомошные, леса болотнотравной группы типов лесорастительных условий. Часть недостаточно и слабо дренированных местообитаний трансформирована в результате гидролесомелиоративных работ, которые были начаты еще в XIX в. и наибольший размах приобрели в 60–70-е гг. XX в.

На нормально дренированных суглинках и двучленных наносах преобладают леса кисличной серии типов леса, большие площади заняты лесами черничной серии. Особое место занимают леса дубравнотравной серии, часто с участием в древостое широколиственных пород, в кустарниковом ярусе – лещины, калины, жимолости лесной, волчегодника. В травяном покрове таких лесов обильны виды, характерные для зоны широколиственных лесов. Они встречаются на хорошо гумусированных свежих преимущественно суглинистых почвах. В лесах дубравнотравной серии типов леса в лесничестве преобладают в основном березняки и осинники.

Методика таксационного и геоботанического описания древостоя. В выявленных насаждениях с преобладанием липы в 2013 г. были заложены две ПП, расположенные в квартале 71, выделах 8 (ПП 2) и 11 (ПП 1). Площадь каждой ПП составляла 0,25 га (50×50 м).

На ПП был произведен сплошной пересчет насаждений, в ходе которого для каждого дерева были определены диаметр на высоте 1,3 м (для более точного определения диаметр вычисляли через окружность на высоте груди, деленную на 3,14), высота, возраст, категория санитарного состояния, наличие болезней и вредителей, облиственности и равномерности кроны, ее положение по отношению к другим деревьям. При наличии слома или вывала деревья учитывали отдельно как сломленные или ветровальные. В соответствии с методикой оценки экологического состояния (Приказ Рослесхоза № 523 от 29.12.2007 г., позже замененный на Приказ Федерального агентства лесного хозяйства «Об утверждении методического документа по обеспечению санитарной безопасности в лесах» № 182 от 09.06.2015 г.) отнесение деревьев к той или иной категории состояния проводили по комплексу биоморфологических признаков: цвет листьев и густота кроны, наличие и доля сухих ветвей в кроне, состояние коры, признаки заселения стволовыми вредителями и др. Категорию определяли по 6-бальной шкале:

- 1 – без признаков ослабления;
- 2 – ослабленное;
- 3 – сильно ослабленное;
- 4 – усыхающее;
- 5 – усохшее в текущем году (сухостой текущего года);
- 6 – сухостой прошлых лет.

На ПП в середине июня 2016 г. выявлены видовой состав и проективное покрытие видов подлеска и живого напочвенного покрова. Латинские названия сосудистых растений приведены по Н.Н. Цвелеву [11], мохообразных – по M.S. Ignatov и др. [19].

Методика почвенных описаний и аналитических исследований. Для изучения морфологических и агрохимических характеристик почв были заложены два почвенных разреза, по одному на каждой ПП. После чего проводили морфологическое описание и отбор почвенных образцов для исследования агрохимических показателей почв. Закладку осуществляли по общепринятым методикам [13]. Место для закладки разрезов выбирали в наиболее типичных участках ПП, свободных от корней деревьев. После выкопки ямы проводили описание почвенного профиля и отбирали образцы почвы по горизонтам профиля.

В полевых условиях также исследовали почвы на вскипание, для чего использовался 10 %-й раствор соляной кислоты.

В лаборатории в отобранных из каждого генетического горизонта почвы образцах определяли: содержание гумуса (по методу И.В. Тюрина), актуальную и обменную кислотность (потенциометрически), гидролитическую кислотность и сумму обменных оснований (по методу Каппена), подвижные формы азота (дисульфифеноловым методом), калия (методом Пейве), фосфора (по Кирсанову) [3].

Результаты исследования и их обсуждение

По результатам сплошного перечета насаждений на ПП были получены данные, позволяющие рассчитать средние таксационные показатели. Общее количество учтенных деревьев различных пород и возрастных групп на ПП 1 и ПП 2 представлено в табл. 1.

Таблица 1

**Распределение деревьев по элементам леса на пробных площадях
(закладка – 2013 г.)**

№ яруса	Порода	Возраст, лет	Средние		Количество деревьев, шт., на ПП / на 1 га
			диаметр, см	высота, м	
<i>ПП 1</i>					
1	Липа	85	23	24	71/284
1	Ольха серая	85	24	25	61/244
1	Береза	85	28	24	68/272
1	Ольха черная	85	21	13	10/40
3	Ель	50	12	11	42/168
3	Клен	40	15	5	15/60
<i>ПП 2</i>					
1	Липа	130	35	28	73/292
1	Береза	70	21	23	17/68
1	Осина	110	33	28	7/28
1	Ольха серая	130	38	32	1/4
2	Ель	70	20	17	42/168
2	Клен	40	10	11	10/40
2	Вяз	40	11	12	8/32

На основании анализа полученных данных была дана характеристика насаждений ПП 1 и ПП 2, представленная в табл. 2.

На окраине ПП 1 протекает ручей, вдоль которого встречаются деревья ольхи черной, в живом напочвенном покрове присутствуют индикаторы обильного проточного увлажнения: таволга вязолистная (*Filipendula ulmaria*), гравилат речной (*Geum rivale*), лютик ползучий (*Ranunculus repens*).

Общее состояние насаждений на ПП 1 оценивается как удовлетворительное со средним баллом состояния 2,8. В насаждении наилучшее состояние отмечено у деревьев ольхи серой (2,4), средний балл состояния деревьев липы – 2,8, березы – 2,7; деревья ели находятся в неудовлетворительном состоянии (3,5).

Половина из обследованных деревьев липы на ПП 2 имеет хорошее состояние, остальные – удовлетворительное. Средний балл состояния деревьев липы – 2,5. Наиболее распространенными повреждениями являются морозобойные трещины (у 20 % обследованных деревьев липы). Средний балл состояния осины – 2,9; ели – 2,8; березы – 2,6.

Таблица 2

Характеристика насаждений пробных площадей (закладка – 2013 г.)

№ яруса	Состав древостоя по ярусам	Возраст, лет	Средняя высота яруса, м	Диаметр преобладающей породы, см	Класс бонитета	Относительная полнота	Запас, м ³ /га	Подрост (густота, шт./га)
<i>ПП 1</i>								
1	4Лп3Б3Олс 8Е2Олч	85	24	23	II	0,8	389	Липа (1000) Клен (400) Ель (150)
2	Подлесок: клен, рябина, черемуха							
<i>ПП 1</i>								
1	7Лп2Б1Ос 10Е	130	28	35	II	0,7	579	Клен (500) Липа (250) Ель (250) Вяз (100)
2	Подлесок: клен, вяз, рябина							

В живом напочвенном покрове на обеих ПП обильны звездчатка дубравная (*Stellaria nemorum*), сныть (*Aegopodium podagraria*), ветреница дубравная (*Anemonoides nemorosa*), копытень европейский (*Asarum europaeum*), подмаренник душистый (*Galium odoratum*), печеночница (*Hepatica nobilis*), зеленчук желтый (*Galeobdolon luteum*), чина весенняя (*Lathyrus vernus*), медуница (*Pulmonaria obscura*), чистяк весенний (*Ficaria verna*), вороний глаз (*Pariquadrifolia*) и бор развесистый (*Milium effusum*). Встречаются также кислица (*Oxalis acetosella*) и хвощ луговой (*Equisetum pratense*). Кустарнички (черника, брусника и др.) отсутствуют или играют незначительную роль. Мохово-лишайниковый ярус разреженный, в нем встречаются *Atrichum undulatum*, *Brachythecium salebrosum*, *Cirriphyllum piliferum*, *Plagiomnium cuspidatum*, *Rhytidadelphus triquetrus*, *Rhodobryum roseum*, *Sciuro-hypnum oedipodium*, *S. reflexum*.

Липовые леса ПП отнесены к дубравнотравной серии типов леса, описываемой в типологической классификации Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства [10]. Согласно эколого-фитоценотической классификации в модификации В.И. Василевича [5] они относятся к ассоциации *Aegopodio-Tilietum*. Согласно флористической классификации школы Й. Браун-Бланке [14] липняки дубравнотравные соответствуют ассоциации *Aegopodio-Tilietum*. Согласно классификации растительности скандинавских стран [21–23] описанные сообщества могут быть отнесены к *Tilia cordata*-тип, встречающемуся в Финляндии, Дании, Норвегии, Швеции. В Эстонии сообщества сходного состава с преобладанием липы относят к типу *Aegopodium-site type*.

На ПП было проведено исследование почв. Морфологическое описание разреза № 2 на ПП 2 представлено в табл. 3, основные показатели плодородия почв – в табл. 4.

Таблица 3

Морфологическое описание горизонта

Горизонт	Мощность горизонта, см	Характеристика
A ₀	0...3	Лесной опад, хорошо разложившийся, листья, травы, ветки, корни.
A ₁	3...17	Гумусовый, темно-коричневый, структура мелкозернистая, сложение рыхлое, супесчаный, встречаются корни, переход плавный.
A _{2fe,h}	17...30	Скрытоподзолистый, светло-серый, с темными пятнами, структура пылеватая, сложение рыхлое, супесчаный, встречаются корни, переход плавный.
B _{fe}	30...70	Иллювиальный, палевый с коричневыми пятнами, структура комковатая, сложение плотное, песчаный, встречаются железистые конкреции, переход плавный.
C	>70	Озовый крупнозернистый песок.

Таблица 4

Агрохимические показатели почв

Горизонт	Мощность горизонта, см	Содержание гумуса, %	pH		Содержание, мг-экв. / 100 г почвы					Насыщенность основаниями, %
			H ₂ O	KCl	ГК	S	K ₂ O	P ₂ O ₅	NO ₃	
<i>ПП 1</i>										
A ₁	4...14	4,49	5,8	3,6	12,74	5,41	4,2	5,9	0,8	29,8
A _{2fe,h}	14...20	1,86	6,1	4,2	3,09	0,21	4,2	8,0	5,3	6,3
B	20...77	0,63	5,7	4,2	5,64	0,42	4,0	7,2	0,5	6,8
BC	>77	0,55	5,8	4,4	2,55	0,83	4,0	9,0	3,7	24,6
<i>ПП 2</i>										
A ₁	3...17	3,65	6,8	4,8	4,00	5,2	4,6	11,0	2,3	56,5
A _{2fe,h}	17...30	0,97	6,9	4,7	1,64	1,66	4,2	7,6	5,0	50,4
B _{fe}	30...70	1,28	6,9	4,6	2,00	2,29	4,2	14,5	0,5	53,3
C	>70	0,68	6,8	4,8	2,37	2,08	4,2	22,0	4,5	46,8

Примечание. ГК – гидролитическая кислотность; S – сумма обменных оснований.

По Классификации почв СССР название почвы – мультгумусная скрытоподзолистая иллювиально-железистая песчаная на озовом песке.

По содержанию гумуса в верхнем горизонте почвы относятся к хорошо насыщенным (более 4,0 %), что не характерно для почв таежной зоны. По содержанию гумуса и мощности гумусового горизонта они соответствуют почвам

двух травянодубравных серий типов леса (на бескарбонатных и на карбонатных суглинках), описанных в Ленинградской области [10]. Эти серии характеризуются самыми плодородными почвами лесов региона. Вероятно, высокому содержанию гумуса способствует опад липы. Известно, что липа имеет более глубокую корневую систему, чем ель, что позволяет ей усваивать питательные вещества с большей глубины, где располагаются моренные суглинки, обогащенные карбонатом кальция. Это повышает pH и концентрацию обменного кальция (Ca^{2+}) на поверхности почвы и улучшает условия для разложения листового опада и накопления гумуса [13, 15], что способствует увеличению скорости роста липы и подтверждается высоким запасом насаждения. Так, по данным учета, запас насаждения на ПП 2 составляет $579 \text{ м}^3/\text{га}$, что совершенно нетипично для условий Лисинского участкового лесничества.

Насыщенность основаниями в гумусовом горизонте составляет 29,0 и 56,0 % и сопоставима с результатами для верхних горизонтов почв (до 80 см) дубравнотравных серий типов леса на бескарбонатных ($(27,1 \pm 5,5) \%$) и карбонатных ($(61,7 \pm 10,1) \%$) суглинках [10]. По степени насыщенности основаниями почвы относятся к ненасыщенным, что в целом характерно для лесных почв, чему способствует промывной водный режим.

Степень обменной кислотности (pH_{KCl}) варьирует от очень сильнокислой до среднекислой (от 3,6 до 4,8 ед.). Это свидетельствует об отсутствии карбонатных пород или карбонатных грунтовых вод на глубине до 80 см. Для почв травянодубравной серии типов леса на карбонатных суглинках, описанных в Ленинградской области на глубине залегания карбонатной морены около 80 см, значение pH_{KCl} составляет $7,0 \pm 0,26$ [10]. Вскипание почвы на ПП 1 и ПП 2 обнаружено не было на всем протяжении профилей, т. е. до глубины 80 см.

Обеспеченность почв подвижным калием считается низкой для оптимального произрастания растений, что характерно для почв таежной зоны.

Обеспеченность фосфором увеличивается с глубиной и в разрезе 1 изменяется от низкой до средней, в разрезе 2 – от средней до высокой. Такое увеличение характерно для подзолистых почв, так как подзолообразовательный процесс наряду с промыванием приводит к миграции фосфора и связи последнего с железом.

Степень обеспеченности азотом (подвижными формами) низкая, причем в горизонте вымывания фиксируются большие значения ($5,0 \dots 5,3 \text{ мг-экв./100 г}$), как и в материнской породе ($3,7 \dots 4,5 \text{ мг-экв./100 г}$), горизонт вымывания отличается меньшими значениями (около $0,5 \text{ мг-экв./100 г}$).

Согласно проведенным ранее исследованиям почв в дубравнотравной серии типов леса [10], содержание общего азота составляет около $1,0 \dots 2,0 \%$. Однако это относится к запасам азота органического вещества, включающего в себя не только подвижные формы, т. е. сравнивать данные показатели некорректно.

Результаты морфологических исследований показывают, что на размытом озе формируются подзолистые почвы со слабовыраженным подзолообразовательным процессом ввиду хорошего дренажа песчаных грунтов. Это характерно для почв на песках и моренных валунных суглинках, где, согласно результатам

ранее проведенных исследований, типичный подзолистый горизонт формируется редко, чаще выражен переходным в виде пятен или не выражен вообще [10].

Большой интерес представляют данные о происхождении и времени существования липовой рощи в Лисинском участковом лесничестве. Анализ темпов отпада деревьев липы на Северо-Западе [16] и последующее моделирование динамики насаждений липы [6] показывает, что липовые насаждения могут существовать без возобновления как минимум 400 лет. По сведениям С.Д. Pigott [24], максимальный возраст липы может достигать 1300 лет. Известно, что липняки существуют в Северной Англии на одном и том же месте в течение 3...4 тыс. лет [24], т. е. со времен голоценового оптимума. Существование липы к северу от широты Лисинского участкового лесничества, где ее семена не взрывают [4], можно объяснить способностью липы к порослевому возобновлению после гибели дерева в результате ветровала или рубки. Таким образом, можно предположить, что липовые насаждения Лисинского участкового лесничества являются реликтами теплого Атлантического периода голоцена.

Заключение

Изученные липняки представляют собой старовозрастные леса, находящиеся в фазе «оконной» динамики, о чем свидетельствует преобладание липы как в древостое, так и в подросте. Это означает, что они существовали и могут дальше довольно долго существовать на одном и том же месте. В то же время липняки являются реликтами теплого Атлантического периода голоцена и все время находятся под угрозой смены ельником при наличии заноса семян ели.

В живом напочвенном покрове изученных липняков преобладают виды растений, свойственные более южным местообитаниям зоны широколиственных лесов.

Исследованные липняки занимают местообитания, характеризующиеся высоким содержанием гумуса и относительно мощным гумусовым горизонтом, хотя их почвы сформированы на бескарбонатных породах и отличаются низким содержанием подвижных форм элементов минерального питания. Однако почвы липняков богаты органическим веществом, содержание которого в несколько раз выше средних значений, характерных для лесных почв района исследований, что позволяет отнести их к хорошо обеспеченным гумусом. Наличие значительного количества органики в почвах свидетельствует о потенциальных запасах азота, которые в процессе минерализации трансформируются в доступные для растений формы и способствуют развитию липовых древостоев.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александрова В.Д., Грибова С.А., Исаченко Т.И., Непомилуева Н.И., Овсенов С.А., Паянская-Гвоздева И.И., Юрковская Т.К. Геоботаническое районирование Нечерноземья европейской части РСФСР. Л.: Наука, 1989. 64 с.

2. Андерссон Л., Мариев А., Кутепов Д., Нешатаев В., Алексеева Н. Выявление и обследование биологически ценных лесов: учеб. пособие по применению метода. СПб.: СПбОЕ, 2007. 200 с.
3. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв: учеб пособие. М.: МГУ, 1970. 487 с.
4. Булыгин Н.Е., Ярмишко В.Т. Дендрология: учеб. 2-е изд. М.: МГУЛ, 2003. 528 с.
5. Василевич В.И., Бибикова Т.В. Широколиственные леса северо-запада Европейской России. II. Типы липовых, кленовых, ясеневых и ильмовых лесов // Ботан. журн. 2002. Т. 87, № 2. С. 48–61.
6. Добровольский А.А. Особенности структуры и состояния насаждений с участием широколиственных пород в Санкт-Петербурге и его окрестностях: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. СПб., 2009. 21 с.
7. Селиховкин А.В., Бабиков Б.В., Алексеев А.С., Никифоров А.Г., Егоров А.А., Чепик Ф.А., Минкевич И.И., Варанцова Е.Ю., Мартынов Е.Н., Масайтис В.В., Бондаренко Е.А., Шурыгин С.Г., Мельников Е.С., Мартынов А.Н., Сеннов С.Н., Данилов Ю.И., Потокин А.Ф., Соловьев В.А. Лисино. 200 лет служения лесам России / под. ред. А.В. Селиховкина. СПб.: СПбГЛТА, 2009. 224 с.
8. Тимофеев А.И., Савицкая С.Н. Почвообразующие породы Лисинского учебно-опытного лесхоза и их влияние на почвообразование // Актуальные проблемы лесного комплекса. Брянск, 2009. Вып. 22. С. 139–146.
9. Тимофеев А.И., Савицкая С.Н. Почвы Лисинского лесхоза: СПб.: СПбГЛТУ, 2011. 127 с.
10. Федорчук В.Н., Нешатаев В.Ю., Кузнецова М.Л. Лесные экосистемы северо-западных районов России. Типология, динамика, хозяйственные особенности. СПб.: СПбНИИЛХ, ЗАО «Хромис», 2005. 382 с.
11. Цвелев Н.Н. Определитель сосудистых растений Северо-Западной России (Ленинградская, Псковская и Новгородская области). СПб.: СПХФА, 2000. 781 с.
12. Шишков И.И., Докудовский И.Е. Типы леса Лисинского учебно-опытного лесхоза и их хозяйственное использование. М.: Гослесбумиздат, 1963. 112 с.
13. van Breemen N., Buurman P. Soil Formation. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publ., 2003. 415 p.
14. Dierssen K. Vegetation Nordeuropas. Stuttgart, Germany: Verlag Eugen Ulmer, 1996. 838 p.
15. Dijkstra F. Effect of Tree Species on Soil Properties in a Forest of the Northeastern United States: PhD Thesis. Wageningen, Netherlands, 2000. 120 p.
16. Drobyshev I., Dobrovolsky A., Neshataev V. Tree Mortality in a Mixed Deciduous Forest in Northwestern Russia Over 22 Years // Annals of Forest Science. 2009. Vol. 66, iss. 4. P. 411. DOI: 10.1051/forest/2009018
17. Eaton E., Caudullo G., de Rigo D. *Tilia cordata*, *Tilia platyphyllos* and other Limes in Europe: Distribution, Habitat, Usage and Threats // European Atlas of Forest Tree Species / Ed. by J. San-Miguel-Ayanz, D. de Rigo, G. Caudullo, T. Houston Durrant, A. Mauri. Luxemburg: Publ. Off. EU, 2016. Pp. e010ec5+.
18. Hulten E., Fries M. Atlas of North European Vascular Plants (North of the Tropic of Cancer). Königstein, Germany: Koeltz Scientific Books, 1986. 1172 p.
19. Ignatov M.S., Afonina O.M., Ignatova E.A. Check-List of Mosses of East Europe and North Asia // Arctoa. 2006. No. 15. Pp. 1–130.

20. *Jensen J.S.* EUFORGEN Technical Guidelines for Genetic Conservation and Use for Lime (*Tilia spp.*). Rome, Italy: International Plant Genetic Resources Institute, 2003. 6 p.
21. *Paal J.* Eesti taimkatte kasvukohatüüpide klassifikatsioon [Classification of Estonian Vegetation Site Types]. Tartu, Estonia, 1999. 200 p.
22. *Pahlsson L.* Vegetationstyper i Norden [Vegetation Types in the Nordic Countries]. TemaNord, Köpenhamn, 1994. P. 665.
23. *Pigott C.D., Huntley J.P.* Factors Controlling the Distribution of *Tilia cordata* at the Northern Limits of Its Geographical Range: II. History in North-West England // *New Phytologist*. 1980. Vol. 84, iss. 1. Pp. 145–164. DOI: 10.1111/j.1469-8137.1980.tb00757.x
24. *Pigott C.D.* Factors Controlling the Distribution of *Tilia cordata* Mill at the Northern Limits of Its Geographical Range: IV. Estimated Ages of the Trees // *New Phytologist*. 1989. Vol. 112, iss. 1. Pp. 117–121. DOI: 10.1111/j.1469-8137.1989.tb00316.x
25. *Smith J.* The Facts on File Dictionary of Earth Science. New York, USA: Infobase Publ., 2014. 401 p.

Поступила 17.04.17

UDC 630*182

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.21

Peculiarities of Lime Woods in the Lisino Forestry of the Training Forest District

A.A. Dobrovolskiy, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

L.S. Bogdanova, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

V.Yu. Neshataev, Candidate 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: alexander-83@yandex.ru, lidun80@mail.ru, vn1872@yandex.ru

The target of research were the lime woods of the Leningrad region. The studies were carried out on two permanent study areas established by the authors in May 2013 in the forest compartment no. 71 of the Lisino District Forestry of the Training Forest District of the Leningrad Region. The goal of research was to obtain a complex characteristic of biogeocoenoses in plantations represented by linden, which was a rare cladotype formation in the north of its growing area. It was one of the objects of special protection of the Lisino Reserve. The objective of the research included a taxation and geobotanical description on permanent study areas, and studying the soil cover. To obtain morphological and agrochemical characteristics of soils, we established 2 soil pits, one for each sample plot, and carried out a morphological description and selection of soil samples for studying the agrochemical indicators. The humus level, actual and reverse acidity (by potentiometry), combined acidity and total exchangeable bases, active forms of nitrogen (by the phenoldisulfonic method), potassium (by Peive method), phosphorus (by Kirsanov method) were determined in the soil samples of each horizon. Based on the results of complete enumeration of plantations on

For citation: Dobrovolskiy A.A., Bogdanova L.S., Neshataev V.Yu. Peculiarities of Lime Woods in the Lisino Forestry of the Training Forest District. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 5, pp. 21–34. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.21

sample plots, we calculated the average taxational indicators. The general condition of plantations in the surveyed areas was satisfactory (mean score was 2.5 and 2.8). Lime woods in the sample plots were attributed to a nemorose-herb series of forest types, soils – to a podzolic type with a weak development of the podsol-forming process. They were well-mediated by humus in the upper horizon. This fact was facilitated by the lime litter, which had a deep root system to take up nutritional chemicals from a greater depth, where moraine loams enriched with calcium carbonate were located. Old-aged forests of this type were in the phase of “window” dynamics. This means that they can occur for a rather long time in the same place, however, the lime woods are the cladotypes of the warm Atlantic period of the Holocene and their existence is constantly under threat of spruce change. Morphological studies show that ashen gray soils with poorly expressed podsol-forming process are formed in the diffuse eskar due to the free drainage of sandy grounds formed on carbonate-free layers with a low content of active forms of mineral elements, characteristic of sand and sandy loam. The results of our study show that low levels of soil mineral nutrients supply are sufficient for the successful linden growth.

Keywords: biogeocoenosis, lime wood, old-aged forest, stands of broad-leaved species, Lisino district forestry, soil morphological and agrochemical characteristic.

REFERENCES

1. Aleksandrova V.D., Gribova S.A., Isachenko T.I., Nepomilueva N.I., Ovesnov S.A., Payanskaya-Gvozdeva I.I., Yurkovskaya T.K. *Geobotanicheskoe rayonirovanie Nechernozem'ya evropeyskoy chasti RSFSR* [Geobotanical Zoning of the Non-Black Earth Region of the European Part of the RSFSR]. Leningrad, Nauka Publ., 1989. 64 p. (In Russ.)
2. Andersson L., Mariev A., Kutepov D., Neshataev V., Alekseeva N. *Vyyavlenie i obsledovanie biologicheskikh tsennykh lesov: ucheb. posobie po primeneniyu metoda* [Identification and Examination of Biologically Valuable Forests]. Saint Petersburg, SPbOE Publ., 2007. 200 p. (In Russ.)
3. Arinushkina E.V. *Rukovodstvo po khimicheskomu analizu pochv: ucheb. posobie* [Guidelines for the Chemical Soil Test]. Moscow, MGU Publ., 1970. 487 p. (In Russ.)
4. Bulygin N.E., Yarmishko V.T. *Dendrologiya: ucheb.* [Dendrology]. Moscow, MGUL Publ., 2003. 528 p. (In Russ.)
5. Vasilevich V.I., Bibikova T.V. *Shirokolistvennye lesa severo-zapada Evropeyskoy Rossii. II. Tipy lipovykh, klenovykh, yasenevykh i il'movykh lesov* [Broad-Leaved Forests of the North-West of European Russia. II. Types of Linden, Maple, Ash and Elm Forests]. *Botanicheskiy zhurnal*, 2002, vol. 87, no. 2, pp. 48–61.
6. Dobrovol'skiy A.A. *Osobennosti struktury i sostoyaniya nasazhdeniy s uchastiem shirokolistvennykh porod v Sankt-Peterburge i ego okrestnostyakh: avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk* [Peculiarities of the Structure and Condition of Plantations with Broad-Leaved Species in Saint Petersburg and Its Precincts: Cand. Agric. Sci. Diss. Abs.]. Saint Petersburg, 2009. 21 p.
7. Selikhovkin A.V., Babikov B.V., Alekseev A.S., Nikiforov A.G., Egorov A.A., Chepik F.A., Minkevich I.I., Varantsova E.Yu., Martynov E.N., Masaytis V.V., Bondarenko E.A., Shurygin S.G., Mel'nikov E.S., Martynov A.N., Sennov S.N., Danilov Yu.I., Potokin A.F., Solov'ev V.A. *Lisino. 200 let sluzheniya lesam Rossii* [Lisino. 200 Years of Serving to the Forests of Russia]. Ed. by A.V. Selikhovkin. Saint Petersburg, SPbGLTA Publ., 2009. 224 p. (In Russ.)

8. Timofeev A.I., Savitskaya S.N. Pochvoobrazuyushchie porody Lisinskogo uchebno-opytного leskhoza i ikh vliyanie na pochvoobrazovanie [Soil-Forming Species of the Lisino Training Forest District and Their Influence on Soil-Forming]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa* [Actual Problems of the Forest Complex]. Bryansk, 2009, iss. 22, pp. 139–146. (In Russ.)
9. Timofeev A.I., Savitskaya S.N. *Pochvy Lisinskogo leskhoza* [Soils of the Lisino Forestry]. Saint Petersburg, SPbGLTU Publ., 2011. 127 p. (In Russ.)
10. Fedorchuk V.N., Neshataev V.Yu., Kuznetsova M.L. *Lesnye ekosistemy severo-zapadnykh rayonov Rossii. Tipologiya, dinamika, khozyaystvennye osobennosti* [Forest Ecosystems of the North-Western Regions of Russia. Typology, Dynamics, Economic Features]. Saint Petersburg, SPbNILKh, ZAO “Khromis” Publ., 2005. 382 p. (In Russ.)
11. Tsvelev N.N. *Opredelitel' sosudistykh rasteniy Severo-Zapadnoy Rossii (Leningradskaya, Pskovskaya i Novgorodskaya oblasti)* [Key to Vascular Plants of North-West Russia (Leningrad, Pskov and Novgorod Regions)]. Saint Petersburg, SPKhFA Publ., 2000. 781 p. (In Russ.)
12. Shishkov I.I., Dokudovskiy I.E. *Tipy lesa Lisinskogo uchebno-opytного leskhoza i ikh khozyaystvennoe ispol'zovanie* [Forest Types of the Lisino Training Forest District and Their Economic Use]. Moscow, Goslesbumizdat Publ., 1963. 111 p. (In Russ.)
13. van Breemen N., Buurman P. *Soil Formation*. Dordrecht, Netherlands, Kluwer Academic Publ., 2003. 415 p.
14. Dierssen K. *Vegetation Nordeuropas*. Stuttgart, Germany, Verlag Eugen Ulmer, 1996. 838 p.
15. Dijkstra F. *Effect of Tree Species on Soil Properties in a Forest of the Northeastern United States*: PhD Thesis. Wageningen, Netherlands, 2000. 120 p.
16. Drobyshev I., Dobrovolsky A., Neshataev V. Tree Mortality in a Mixed Deciduous Forest in Northwestern Russia Over 22 Years. *Annals of Forest Science*, 2009, vol. 66, iss. 4, p. 411. DOI: 10.1051/forest/2009018.
17. Eaton E., Caudullo G., de Rigo D. *Tilia cordata, Tilia platyphyllos* and other Limes in Europe: Distribution, Habitat, Usage and Threats. *European Atlas of Forest Tree Species*. Ed. by J. San-Miguel-Ayanz, D. de Rigo, G. Caudullo, T. Houston Durrant, A. Mauri. Luxemburg, Publ. Off. EU, 2016, pp. e010ec5+.
18. Hulten E., Fries M. *Atlas of North European Vascular Plants (North of the Tropic of Cancer)*. Königstein, Germany, Koeltz Scientific Books, 1986. 1172 p.
19. Ignatov M.S., Afonina O.M., Ignatova E.A. Check-List of Mosses of East Europe and North Asia. *Arctoa*, 2006, no. 15, pp. 1–130.
20. Jensen J.S. *EUFORGEN Technical Guidelines for Genetic Conservation and Use for Lime (Tilia spp.)*. Rome, Italy, International Plant Genetic Resources Institute, 2003. 6 p.
21. Paal J. *Eesti taimkatte kasvukohatüüpide klassifikatsioon* [Classification of Estonian Vegetation Site Types]. Tartu, Estonia, 1999. 200 p.
22. Pahlsson L. *Vegetationstyper i Norden* [Vegetation Types in the Nordic Countries]. TemaNord, Köpenhamn, 1994, p. 665.
23. Pigott C.D., Huntley J.P. Factors Controlling the Distribution of *Tilia cordata* at the Northern Limits of Its Geographical Range: II. History in North-West England. *New Phytologist*, 1980, vol. 84, iss. 1, pp. 145–164. DOI: 10.1111/j.1469-8137.1980.tb00757.x.
24. Pigott C.D. Factors Controlling the Distribution of *Tilia cordata* Mill at the Northern Limits of Its Geographical Range: IV. Estimated Ages of the Trees. *New Phytologist*, 1989, vol. 112, iss. 1, pp. 117–121. DOI: 10.1111/j.1469-8137.1989.tb00316.x.
25. Smith J. *The Facts on File Dictionary of Earth Science*. New York, USA, Infobase Publ., 2014. 401 p.

Received on April 17, 2017

УДК 674.038.1

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.35

ФОРМИРОВАНИЕ СМОЛЯНЫХ КАРМАШКОВ В СТВОЛАХ ДЕРЕВЬЕВ ЛИСТВЕННИЦЫ ДАУРСКОЙ

В.Н. Глухих¹, д-р техн. наук, проф.

А.Ю. Охлопкова², технолог

¹Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,
2-я Красноармейская ул., д. 4, Санкт-Петербург, Россия, 190005;
e-mail: vnglukhikh@mail.ru

²ООО «Азия Лес», пер. Облачный, д. 78А, офис 11, г. Хабаровск, Россия, 680030;
e-mail: anna.okhlopkova@gmail.com

В статье проанализированы результаты работ отечественных и зарубежных авторов в области напряженно-деформированного состояния древесного ствола и распределения внутренних напряжений в нем. Установлено, что на начальные напряжения, при их дальнейшем изменении в процессе роста деревьев, накладываются циклические напряжения растяжения и сжатия, возникающие при ветровой нагрузке. Древесный ствол, как уравновешенная система и живой организм, стремится компенсировать возникающие нагрузки за счет увеличения плотности стенок клеток, изменения их структуры – скручивания. Возникновение предельных нагрузок и цикличность нагрузок при раскачивании могут приводить к микроповреждениям – трещинам. У хвойных пород образовавшиеся полости заполняются природным антисептиком – смолой. Под воздействием переменных сжимающих и растягивающих напряжений происходит дальнейшее увеличение полостей и заполнение смоляных кармашков. С учетом характера начальных напряжений в радиальном и тангенциальном направлениях кармашки в среднем будут длиннее в зонах наибольших радиальных напряжений растяжения. Целью исследования являлось обоснование местоположения наибольшего скопления смоляных кармашков. Основываясь на том, что форма ствола соответствует форме стержня равного сопротивления, при котором напряжения в наружных волокнах при изгибе должны быть одинаковыми по всей высоте дерева, был произведен расчет окружных и радиальных напряжений по радиусу сечения ствола. При учете взаимосвязи между размером ядровой зоны, напряжениями в центре и по контуру сечения и пределами прочности древесины при статическом изгибе и сжатии для расчета начальных напряжений в стволе древесины лиственницы даурской методами сопротивления материалов применена функция распределения начального продольного напряжения в виде параболоида 14-й степени. В результате получены эпюра суммарного напряжения в стволе, на основе обобщенного закона Гука – график распределения главной относительной деформации в радиальном направлении по диаметру сечения ствола. В качестве подтверждения теории формирования смоляных кармашков проведены лабораторные испытания для определения пределов прочности при статическом изгибе и сжатии вдоль волокон с учетом соотношения радиусов

Для цитирования: Глухих В.Н., Охлопкова А.Ю. Формирование смоляных кармашков в стволах деревьев лиственницы даурской // Лесн. журн. 2017. № 5. С. 35–52. (Иzv. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.35

ядровой и заболонной древесины в образцах. Изучение локализации кармашков по диаметру сечения стволов лиственницы даурской показало, что наибольшее их количество расположено в зоне максимальной радиальной деформации.

Ключевые слова: древесина, ствол дерева, напряженно-деформированное состояние, внутренние и начальные напряжения, напряжения роста, смоляные кармашки, лиственница даурская.

Введение

В процессе роста в объеме дерева возникают напряжения и деформации от действия собственного веса и ветровой нагрузки. Появляющиеся механические напряжения стимулируют развитие клеток древесины таким образом, чтобы обеспечить жизнестойкость ствола. В ответ на образование напряженно-деформированного состояния (НДС) от внешних воздействий и соответствующего развития клеток древесины в противовес первому формируется зеркальное отображение НДС ствола дерева в процессе роста.

Наиболее значимы исследования начальных напряжений роста следующих ученых: А.И. Кузнецова [8], Н. Kübler [14] и А. Ylinen [17]. Некоторые работы посвящены влиянию ветровой нагрузки на формирование ствола дерева [15, 18]. С.В. Белов [2] подготовил обзор опубликованных по этой проблеме материалов и результатов собственных исследований. Он отмечает, что под действием порывов ветра раскачивание дерева приводит к циклическим изменениям напряжений в стволе. По опытным данным период вынужденных колебаний деревьев высотой 18...25 м составляет 4...7 с, частота колебаний – в среднем 12 циклов в минуту. Известно, что слои заболонной древесины в живом состоянии существуют около 30 лет и испытывают за это время от $50,2 \cdot 10^6$ до $90,9 \cdot 10^6$ циклов изменения напряжений.

Живые ткани деревьев способны сопротивляться циклическому изменению напряжений в направлении вдоль волокон без опасности разрушения из-за нарушения усталостной прочности. Это связано не только с высокой прочностью древесины при растяжении и сжатии вдоль волокон, но и с реставрационной способностью клеток в ходе роста [1].

Авторы [8, 14 и др.] отмечают, что образующиеся в процессе роста деревьев начальные напряжения в направлении вдоль волокон являются растягивающими в периферийной зоне ствола и сжимающими в центральной зоне. Эти зоны отличаются друг от друга по цвету: заболонная светлее ядровой. Изменяются и функции древесины этих зон. Проводящей для жидкостей остается заболонная древесина, у которой отверстия пор при растяжении открыты, влажность ее высокая. Ядровая древесина имеет очень низкую проницаемость из-за закрытия мембранами отверстий пор клеток при сжатии.

В зависимости от относительного размера ядровой и заболонной зон различаются и начальные напряжения в этих зонах, а следовательно, плотность и прочность древесины при растяжении и сжатии вдоль волокон, при статическом изгибе и т. д. Физико-механические характеристики зависят от того НДС, которое образуется в стволе в процессе роста дерева.

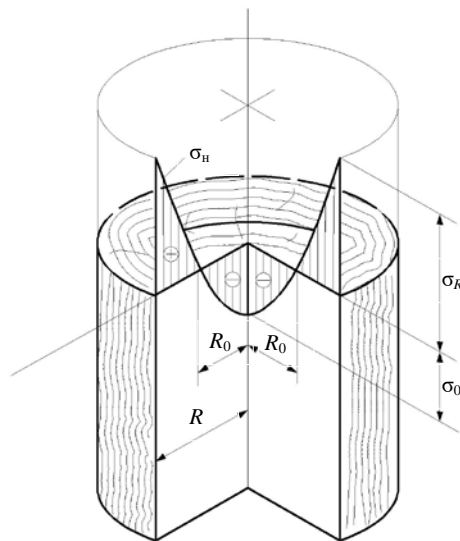
Подтверждением этому можно считать две основные гипотезы, объясняющие образование начальных напряжений в стволе дерева.

Первая гипотеза физически объясняет появление начальных напряжений. По данным исследований С.Г. Лехницкого [11] и В.Н. Глухих [3], напряжения, появляющиеся от собственного веса ствола, кроны и атмосферных осадков, распределены по сечениям неравномерно: в центральной зоне оси их несколько больше, чем в периферийной. Эти механические напряжения стимулируют приток питательных веществ в наиболее напряженную зону, в которой сопротивление сжатию (либо растяжению) за счет увеличения толщины стенок клеток древесины возрастает, вызывая появление в другой зоне напряжений противоположного знака. Одновременно с этим растет и плотность древесины.

Вторая гипотеза имеет физико-химическую основу. При повышении влажности древесины появляется наклон фибрилл в стенках клеток, волокна приобретают форму спирали. Чем выше влажность, тем больше угол наклона фибрилл к продольной оси клетки. При этом поперечный размер фибрилл увеличивается, продольный – сокращается. В заболонной зоне с повышением влажности размер клеток по длине из-за наклона фибрилл сокращается, вызывая сжатие в ядровой зоне. При этом волокна заболони подвергаются растяжению.

Справедливость последней гипотезы иллюстрируют известные исследования Н. Kübler [14], которые экспериментально подтверждают наличие начальных растягивающих напряжений вдоль волокон в периферийной зоне и сжимающих в центральной зоне сечения ствола дерева (рис. 1).

Рис.1. Распределение начальных напряжений по сечению ствола дерева: R – радиус ствола дерева; R_0 – радиус ядровой древесины; σ_n – начальное напряжение; σ_R и σ_0 – значение начального напряжения в точках, расположенных в центре и на контуре сечения



Радиальное напряжение в поперечных сечениях является растягивающим, а окружное в периферийной зоне – сжимающим, в центральной – растягивающим. Начальное напряжение напоминает зеркальное отображение напряжения от раздражителя. В первом случае им является напряжение

от ветровой нагрузки, причем предельным это напряжение будет при критической скорости ветра, во втором – напряжение из-за наклона фибрилл, связанного с влажностью древесины. В совокупности эти два фактора способствуют формированию прочности древесины при сжатии и растяжении вдоль волокон и при статическом изгибе.

Весьма существенным обстоятельством является циклическая перемена знака и величина начального напряжения при ветровой нагрузке из-за раскачивания дерева. При этом на всем протяжении действия ветровой нагрузки в стволе дерева происходит изменение НДС. Напряжения в радиальном и тангенциальном направлениях при раскачивании дерева изменяются не только по величине, но и по знаку.

Механизм образования кармашков и смолывыделения изучен недостаточно. Л.А. Иванов [7] считает, что причиной смолывыделения является секреторное давление, возникающее при участии электрических сил, а выдавливание смолы происходит за счет действия осмотического давления эпителия.

А.И. Кузнецов [8] предполагает, что в процессе смолывыделения участвуют внутренние, а не продольные напряжения в поперечных сечениях, являющиеся причиной ядрообразования. Тангенциальные внутренние силы сжатия в поперечной зоне заболонной древесины вполне могут вызывать давление и способствовать появлению перемещения смолы по горизонтальным и вертикальным смоляным каналам. При понижении окружных напряжений от заболони к центру сечения уменьшается и давление в смоляных ходах. В ядровой зоне, где окружные напряжения меняют свой знак и становятся растягивающими, создается понижение давления в смоляных ходах, истечение живицы прекращается. Он отмечает, что в креновой древесине при интенсивном сжатии вдоль волокон напряжения растяжения в поперечных сечениях не способствуют выделению живицы из смоляных ходов. Креновая древесина всегда имеет значительно меньшее количество смоляных ходов по сравнению с древесиной противоположной стороны ствола.

Отмеченное выше свидетельствует о том, что напряжения в древесине участвуют в образовании смоляных кармашков в процессе роста дерева.

Это же косвенно подтверждают и практические наблюдения при подсочке леса. Истечение живицы возрастает или уменьшается в зависимости от влажности воздуха. С повышением влажности воздуха, как отмечает А.И. Кузнецов [8], тангенциальные напряжения из-за набухания древесины увеличиваются, а при снижении влажности воздуха из-за усушки древесины – уменьшаются. Это предположение, на наш взгляд, не имеет под собой основания, поскольку влажность растущего дерева не может быть ниже предела гигроскопичности, а следовательно, разбухание или усушка древесины просто отсутствуют. Здесь речь может идти об изменении веса кроны и ствола дерева за счет появления свободной влаги из атмосферных осадков и конденсата из воздуха на поверхности ствола, сучьев, коры, листьев или хвои. Такое повышение влажности приведет к увеличению напряжений в стволе дерева от действия ветровой нагрузки, в сухом периоде эти напряжения уменьшаются.

В совокупности из-за действия начальных напряжений и напряжений от ветровой нагрузки, циклически изменяющихся при раскачивании дерева, в некоторых зонах ствола создаются условия для образования локального разрушения с появлением микрополостей, заполняющихся смолой. Из-за циклически изменяющегося давления смолы в кармашке при раскачивании дерева происходит дальнейшее развитие полости за счет воздействия гидравлического клина. Наши наблюдения подтверждают, что по объему ствола дерева кармашки распространяются неравномерно. Наибольшее их количество образуется в тех местах, где напряжения и деформации достигают максимальных значений.

На основании изложенного выше можно сделать вывод, что исследования распространения кармашков по стволу дерева должно предшествовать изучению изменения начальных напряжений и напряжений от действия ветровой нагрузки по радиусу сечения и длине ствола.

Объекты и методы исследования

При рассмотрении вопроса образования и развития смоляных кармашков в первую очередь необходимо установить причины их появления, а уже затем исследовать динамику развития.

Кармашек представляет собой полость, заполненную смолой и расположенную в объеме ствола дерева [6]. По предварительным результатам полевых исследований, проведенных параллельно с [12], кармашки располагаются по поперечному сечению ствола неравномерно. В эксперименте участвовало две пласти 54 сердцевинных вырезок, всего зафиксирован 501 кармашек. Большинство из них расположено в непосредственной близости от камбиального слоя. В пределах заболони их количество составляет 68,0 %, на расстоянии 2...4 см от поверхности – 19,3 %. При продвижении вглубь ствола количество кармашков уменьшается и в центральной зоне составляет доли процента. По нашим данным, наибольшее их количество приходится на зону 0,80...0,92 от радиуса сечения ствола дерева.

Образование полости в объеме ствола связано с нарушением целостности массива древесины в локальной области. Причиной нарушения целостности может служить возникновение максимальных напряжений и деформаций в этой области [16]. При этом речь идет о напряжении (деформации) растяжения в радиальном направлении в точке, в которой они по каким-либо причинам достигли предельных значений.

Вначале происходит микроповреждение древесины, возможно усталостного характера, на что она откликается выделением смолы, заполняющей микропустоту (полость). При раскачивании дерева под воздействием ветровой нагрузки радиальное напряжение (деформация) в точке изменяется как по величине, так и по знаку. Как только возникает деформация сжатия в радиальном направлении, давление смолы в кармашке возрастает и она, подобно гидравлическому клину, раздвигает волокна в направлении наименьшего сопротивления, увеличивая объем полости. Отсюда следует, что размер длины кармашков будет самым большим в той части ствола, где фиксируется наибольшее радиальное напряжение сжатия.

В процессе роста в стволе дерева формируются начальные напряжения. По данным А.И. Кузнецова [8], Н. Kübler [14] и других ученых, в продольном направлении напряжения в ядровой зоне являются сжимающими, в заболонной – растягивающими. При изгибе от ветровой нагрузки в стволе появляются дополнительные напряжения, суммирующиеся с начальными. По нашему мнению (рис. 2), в части сечения ствола с подветренной стороны должны действовать только сжимающие напряжения, за исключением точки на поверхности ствола, где напряжение в крайнем случае должно быть равно нулю, в противном случае будет инициирован процесс развития клеток, который в перспективе приведет к смене знаков напряжений в центральной и периферийной зонах, что негативно повлияет на устойчивость дерева.

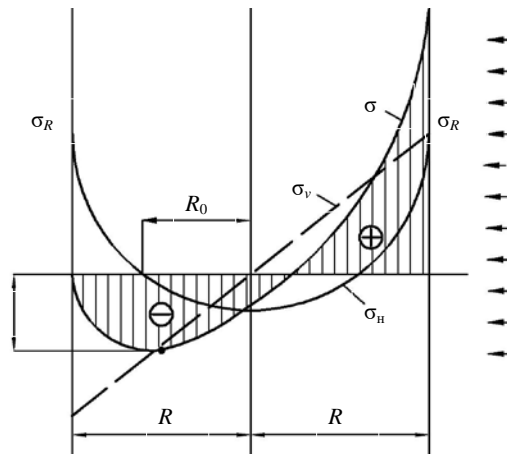


Рис. 2. Распределение начальных, от ветровой нагрузки и суммарного напряжений в плоскости действия ветровой нагрузки (предположение авторов): σ и σ_v – внутренние напряжения от ветровой нагрузки и суммарное

Согласно предположению Н. Kübler [14], при определенной силе ветра во всех точках части сечения с подветренной стороны будут действовать значительные сжимающие напряжения (рис. 3, а), вызывающие опасность появления складок смятия.

В одном можно согласиться с А.И. Кузнецовым и Н. Kübler, что напряжения в продольном направлении значительно больше по величине радиальных и окружных напряжений в поперечных сечениях (рис. 3, б). Оба автора в своих исследованиях отмечают, что начальное радиальное напряжение, сформировавшееся в процессе роста дерева, является растягивающим и относительно небольшим по величине. Начальное напряжение в тангенциальном направлении в центральной зоне является также растягивающим, а в периферийной зоне сжимающим и тоже небольшим по величине.

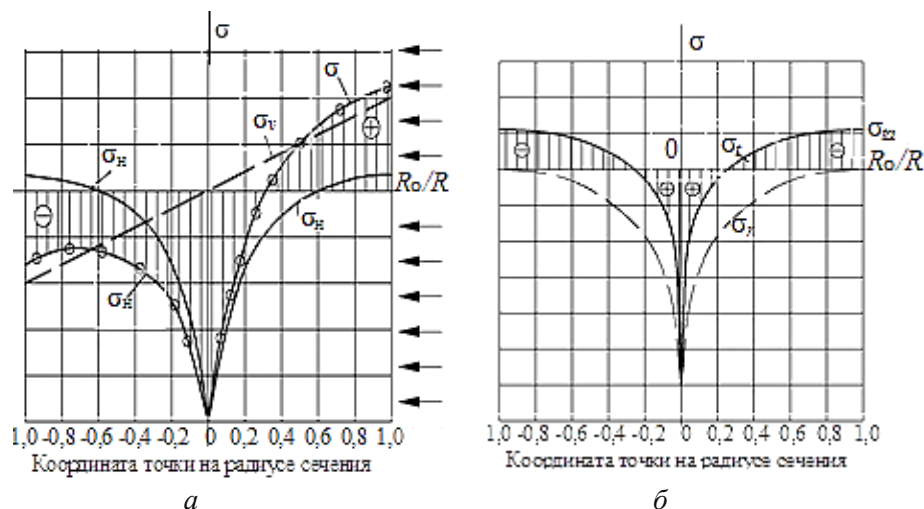


Рис. 3. Распределение начальных напряжений в продольных (а) и поперечных (б) сечениях ствола дерева (Н. Kübler)

Таким образом, в работах Н. Kübler [14], С.Г. Лехницкого [11] и В.Н. Глухих [5] доказано, что в любой точке ствола дерева имеет место объемное напряженное состояние, для расчета которого можно использовать обобщенный закон Гука [3]:

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_r &= \frac{\sigma_r}{E_r} - \mu_{rt} \frac{\sigma_t}{E_t} - \mu_{ra} \frac{\sigma_a}{E_a}; \\ \varepsilon_t &= -\mu_{tr} \frac{\sigma_r}{E_r} + \frac{\sigma_t}{E_t} - \mu_{ta} \frac{\sigma_a}{E_a}; \\ \varepsilon_a &= -\mu_{ar} \frac{\sigma_r}{E_r} - \mu_{at} \frac{\sigma_t}{E_t} + \frac{\sigma_a}{E_a}, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

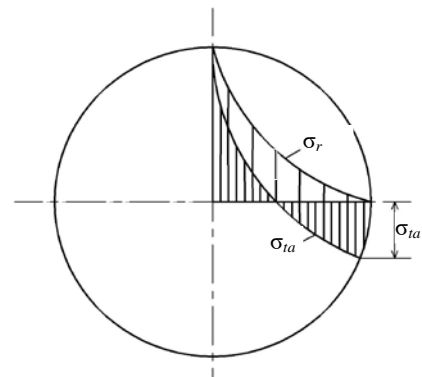
где $\varepsilon_r, \varepsilon_t, \varepsilon_a$ – главные относительные деформации;
 $\sigma_r, \sigma_t, \sigma_a$ – напряжения в главных направлениях анизотропии;
 E_r, E_t, E_a – модули упругости древесины в главных направлениях анизотропии;
 $\mu_{rt}, \mu_{ra}, \mu_{tr}, \mu_{ta}, \mu_{ar}, \mu_{at}$ – коэффициенты поперечной деформации (коэффициенты Пуассона).

Напряженное состояние дерева формируется в процессе роста так, чтобы ствол обладал прочностью и устойчивостью под действием собственного веса, ветровой и снеговой нагрузок. При этом размеры сечений по высоте ствола формируются таким образом, чтобы появляющиеся напряжения не вызвали остаточных деформаций. Ствол дерева должен противостоять порывам ветра с минимальными затратами материала на свою конструкцию [2].

Этому соответствует форма стержня равного сопротивления, в которой напряжения в наружных волокнах при изгибе должны быть одинаковыми по всей высоте ствола. А.И. Кузнецов [8] считает, что нормальный ствол в нижней своей части может быть в форме параболоида, в верхней части – усеченного или правильного конуса.

Принимая в первом приближении форму ствола в виде конического стержня и основываясь на решении задачи его растяжения С.Г. Лехницким [11] методами теории упругости анизотропного тела, В.Н. Глухих [3] уточнил решение задачи напряжений при сжатии конического стержня силами собственного веса (рис. 4).

Рис. 4. Распределение окружных и радиальных начальных напряжений по радиусу сечения ствола дерева (Н. Kübler)



Экспериментальные и теоретические исследования начальных напряжений в стволах деревьев, проведенные разными авторами, подтверждают, что такие напряжения образуются и развиваются в процессе роста дерева и достигают в наиболее напряженных частях ствола предельных значений. В выпиливаемых из такого пиловочника пиломатериалах начальные напряжения, образовавшиеся в дереве в процессе его роста, остаются и достигают четверти своего предельного значения [8].

Н. Kübler [14] предложил логарифмические функции, описывающие изменение начальных напряжений в поперечных и продольном направлениях и позволяющие математически охарактеризовать появление напряжений растяжения (в продольном направлении в периферийной зоне) и сжатия (в центральной зоне сечения).

Исследованиями В.Н. Глухих и А.Л. Акопян [4] установлено, что функции напряжений Н. Kübler [14] могут быть использованы для стволов деревьев, у которых прочность древесины при статическом изгибе и сжатии вдоль волокон одинакова. По данным многочисленных экспериментальных исследований отечественных и зарубежных ученых [9, 10, 13], прочность древесины известных пород при статическом изгибе и сжатии вдоль волокон неодинакова и в среднем различается в 2 раза и более.

В.Н. Глухих и А.Л. Акопян [4] подтверждают, что размер ядровой зоны сечения, напряжения в центре и на контуре сечения в направлении вдоль

волокон, пределы прочности древесины при статическом изгибе и сжатии вдоль волокон взаимосвязаны.

Учитывая размеры ядровой и заболонной зон сечения стволов лиственницы даурской, составляющие на основании наших исследований в среднем $0,85R$ (где R – радиус исследуемого сечения ствола), можно принять функцию распределения начального продольного напряжения в виде параболоида 14-й степени:

$$\sigma_n = \frac{\sigma_R - \sigma_0}{R^{14}} r^{14} + \sigma_0, \quad (2)$$

где σ_n – начальное напряжение в сечении ствола в точке с координатой r ;
 σ_R, σ_0 – начальное напряжение в направлении вдоль волокон древесины на периферии и в центре сечения ствола (рис. 5).

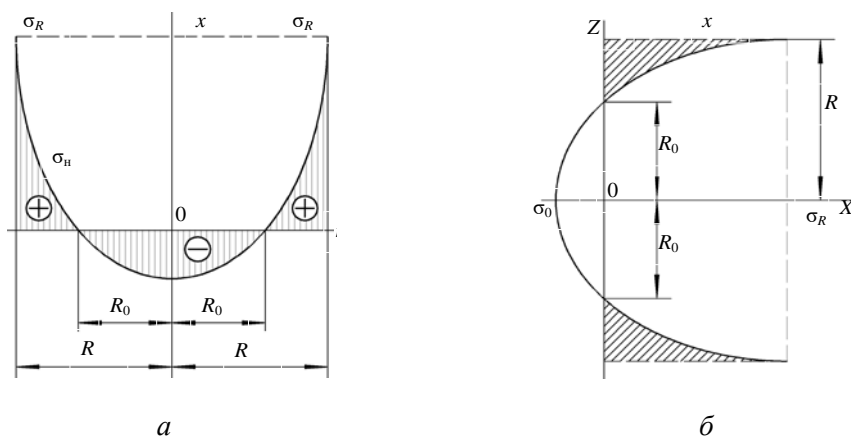


Рис. 5. Распределение начальных напряжений по сечению ствола дерева: *a* – в осесимметричной задаче; *б* – в плоскости действия ветровой нагрузки

Представим уравнение (2) в общем виде:

$$x = kz^{14} + b_0, \quad (3)$$

где $k = \frac{\sigma_R - \sigma_0}{R^{14}}$;

$$b_0 = \sigma_0.$$

Определим равнодействующие на участках эпюры начальных напряжений как объемы тел вращения образующей параболоида (рис. 5, *б*) вокруг оси X :

$$V = \pi \int z^2 dx. \quad (4)$$

Получим из (3) выражение в общем виде:

$$z^2 = \sqrt[7]{\frac{x - b_0}{k}}. \quad (5)$$

Найдем объемы нижней части параболоида (рис. 5, а) и заштрихованного тела вращения (рис. 5, б):

$$V_{\text{ни}} = \pi \int_{-\sigma_0}^0 \sqrt[7]{\frac{x-b_0}{k}} dx = \frac{7\pi}{8\sqrt[7]{k}} (x-b_0)^{8/7} \Big|_{-\sigma_0}^0 = \frac{7\pi}{8\sqrt[7]{k}} [-b^{8/7}] = -\frac{7\pi R^2}{8\sqrt[7]{\sigma_R - \sigma_0}} \sigma^{8/7}; \quad (6)$$

$$V_3 = \pi R^2 \sigma_R - \pi \int_0^{\sigma_R} \sqrt[7]{\frac{x-b_0}{k}} dx = \pi R^2 \sigma_R - \frac{7\pi R^2}{8\sqrt[7]{\sigma_R - \sigma_0}} \times \\ \times [b_0^{8/7} - (\sigma_R - \sigma_0)^{8/7}] = \pi R^2 \sigma_R + \frac{7\pi R^2}{8\sqrt[7]{\sigma_R - \sigma_0}} \sigma_0^{8/7} - \frac{7}{8} \pi R^2 (\sigma_R - \sigma_0). \quad (7)$$

Поскольку

$$\sum X = V_{\text{ни}} - V_3 = -\frac{7\pi R^2}{8\sqrt[7]{\sigma_R - \sigma_0}} \sigma_0^{8/7} + \pi R^2 \sigma_R + \frac{7\pi R^2}{8\sqrt[7]{\sigma_R - \sigma_0}} \sigma_0^{8/7} - \\ - \frac{7}{8} \pi R^2 (\sigma_R - \sigma_0), \quad (8)$$

из уравнения равновесия $\sum X = 0$:

$$\pi R^2 \sigma_R - \frac{7}{8} \pi R^2 (\sigma_R - \sigma_0) = 0. \quad (9)$$

Из (9) получим соотношение напряжений в направлении вдоль волокон в центральной и периферийной зонах сечения:

$$\sigma_R = -7\sigma_0. \quad (10)$$

Радиус ядровой зоны находим, приравняв к нулю начальное напряжение:

$$\sigma_{\text{н}} = \frac{\sigma_R - \sigma_0}{R^{14}} R_0^{14} + \sigma_0 = 0, \quad (11)$$

откуда

$$R_0 = \sqrt[14]{\frac{R^{14}(-\sigma_0)}{-7\sigma_0 - \sigma_0}} = \frac{R}{\sqrt[14]{8}} = \pm 0,862R.$$

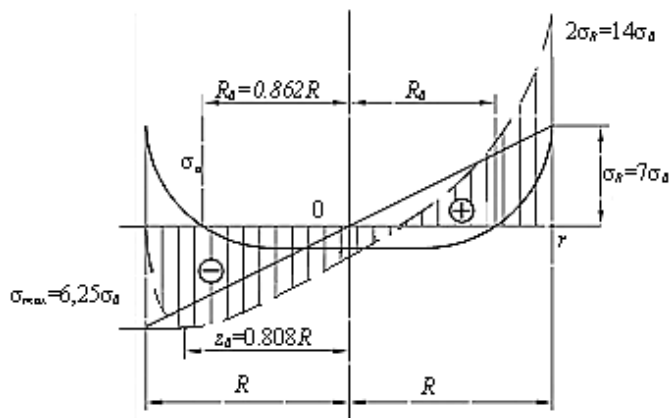
Представим суммарное напряжение вдоль волокон с учетом ветровой нагрузки (рис. 6):

$$\sigma = -8 \frac{\sigma_0}{R^{14}} (z^2 + y^2)^7 + \sigma_0 + \frac{\sigma_R}{R} z = -8 \frac{\sigma_0}{R^{14}} (z^2 + y^2)^7 + \sigma_0 - 7 \frac{\sigma_0}{R} z. \quad (12)$$

Исследуем функцию суммарного напряжения на экстремум (в плоскости ветровой нагрузки):

$$\frac{d\sigma}{dz} = -112 \frac{\sigma_0}{R^{14}} z^{13} - 7 \frac{\sigma_0}{R} = 0; \quad (13) \\ z_0 = \sqrt[13]{-\frac{7R^{13}}{112}} = -\frac{R}{\sqrt[13]{16}} = -0,808R.$$

Рис. 6. Эпюры суммарного напряжения с учетом ветровой нагрузки в стволе лиственницы даурской: z_0 – координата экстремума суммы напряжений; σ_{\max} – максимальное напряжение



Максимальное напряжение в сжатой зоне

$$\sigma_{\max} = -8 \frac{\sigma_0}{R^{14}} (0,808R)^{14} + \sigma_0 + 7 \frac{\sigma_0}{R} 0,808R = 6,2516\sigma_0. \quad (14)$$

Предел прочности при сжатии вдоль волокон:

$$\sigma_{\text{вс}} = 6,2516\sigma_0; \quad (15)$$

при статическом изгибе

$$\sigma_{\text{ви}} = 14\sigma_0. \quad (16)$$

Отношение пределов прочности при сжатии вдоль волокон и статическом изгибе:

$$\frac{\sigma_{\text{ви}}}{\sigma_{\text{вс}}} = \frac{14\sigma_0}{6,2516\sigma_0} = 2,24. \quad (17)$$

Для вычисления главной относительной деформации в радиальном направлении обратимся к работе [17], где начальные окружные и радиальные напряжения описаны логарифмическими функциями:

$$\sigma_t = \sigma_{\text{та}} \left(1 + \ln \frac{r}{R} \right); \quad (18)$$

$$\sigma_r = \sigma_{\text{та}} \ln \frac{r}{R}, \quad (19)$$

которые можно использовать для некоторого упрощения задачи напряжений.

Функцию напряжения вдоль волокон, развивающегося в процессе роста дерева, необходимо принять с учетом размеров ядровой и заболонной зон по результатам авторских исследований применительно к древесине лиственницы даурской:

$$\sigma = -8 \frac{\sigma_0}{R^{14}} (z^2 + y^2)^7 + \sigma_0 - 7 \frac{\sigma_0}{R} z. \quad (20)$$

Для установления причины возникновения внутренних пустот определим главную относительную деформацию в радиальном направлении на основании обобщенного закона Гука:

$$\varepsilon_r = \frac{\sigma_r}{E_r} - \mu_{rt} \frac{\sigma_t}{E_t} - \mu_{ra} \frac{\sigma_a}{E_a} = \frac{\sigma_{ta}}{E_r} \ln \frac{r}{R} - \mu_{tr} \frac{\sigma_{ta}}{E_t} \left(1 + \ln \frac{r}{R} \right) - \frac{\mu_{ar}}{E_a} \left(-8 \frac{\sigma_0}{R^{14}} z^{14} + \sigma_0 - 7 \frac{\sigma_0}{R} z \right). \quad (21)$$

Результаты исследования и их обсуждение

Значения напряжений в формуле (21) необходимо принять по справочным таблицам как предельные в соответствующих направлениях. Начальное напряжение σ_0 в центре сечения ствола дерева можно найти через предел прочности при сжатии вдоль волокон:

$$\sigma_{\text{вс}} = 625 \text{ кг/см}^2.$$

Тогда из (14) получим:

$$\sigma_0 = \frac{\sigma_{\text{вс}}}{6,2516} = 100 \text{ кг/см}^2.$$

Напряжение σ_{ta} принимаем равным пределу прочности при сжатии в тангенциальном направлении.

Численный расчет с использованием компьютерной программы Microsoft Excel[®] для главной относительной деформации R_0/R (R_0 – диаметр ядра) позволил получить данные, приведенные на рис. 7 при следующих параметрах [9], [17]:

$$E_a = 110\,000 \text{ кг/см}^2;$$

$$E_t = 3\,500 \text{ кг/см}^2;$$

$$E_r = 7\,000 \text{ кг/см}^2;$$

$$\sigma_{ta} = -10 \text{ кг/см}^2;$$

$$\sigma_0 = 100 \text{ кг/см}^2;$$

$$\mu_{tr} = 0,62; \mu_{ar} = 0,56.$$

Анализ изменения R_0/R (рис. 7) подтверждает нашу гипотезу о местоположении появляющейся при раскачивании дерева полости, заполняющейся смолой («кармашка»).

Наибольшее скопление кармашков отмечается именно в тех местах ствола дерева, в которых R_0/R достигает экстремальных значений в зоне действия сжимающих напряжений с учетом ветровой нагрузки (рис. 7). В этом же месте, при отклонении ствола в противоположную сторону от действия ветровой нагрузки, возникают максимальное напряжение и деформация противоположного знака.

Таким образом, имеет место циклическое изменение деформации и напряжения. Это служит главной причиной образования кармашков. При нагревании солнечными лучами ствола дерева с южной стороны происходит некоторое снижение физико-механических свойств древесины, что способствует образованию

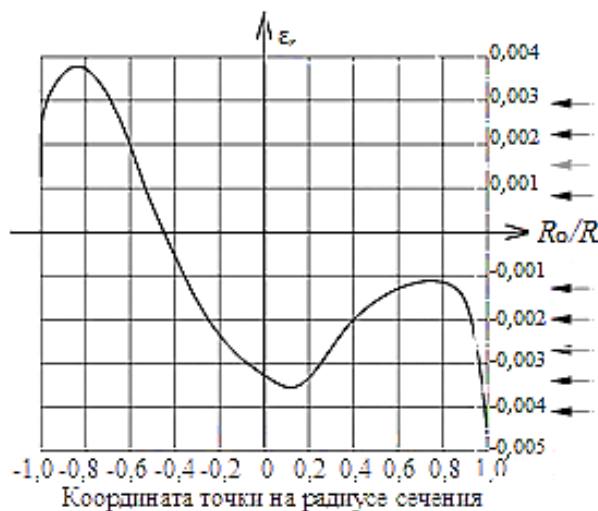


Рис. 7. Распределение главной относительной деформации в радиальном направлении по диаметру сечения ствола: ϵ_r – относительная деформация в радиальном направлении

микрповреждений, заполняющихся на первом этапе менее вязкой и текучей смолой. При повышении давления смолы в кармашке формируются более благоприятные условия развития полости по сравнению с обращенной на север стороной ствола.

Теоретические расчеты подтверждаются экспериментальными результатами, полученными при изучении характеристик и положения кармашков на стволе. Исследования проведены в 2011 г. на базе Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Амосова (г. Якутск) [12]. В рамках данной работы с использованием стандартных методик и современного оборудования изучены основные физико-механические показатели древесины лиственницы даурской, произрастающей на территории Якутии. Пределы прочности при статическом изгибе и сжатии вдоль волокон образцов лиственницы даурской с влажностью выше 30 % определены на оборудовании механической испытательной межкафедральной лаборатории Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета (Санкт-Петербург) и в лаборатории испытаний ООО «Алмаз» (г. Якутск).

Распределение главной относительной деформации в радиальном направлении по диаметру сечения ствола в зависимости от его длины представлено на рис. 8.

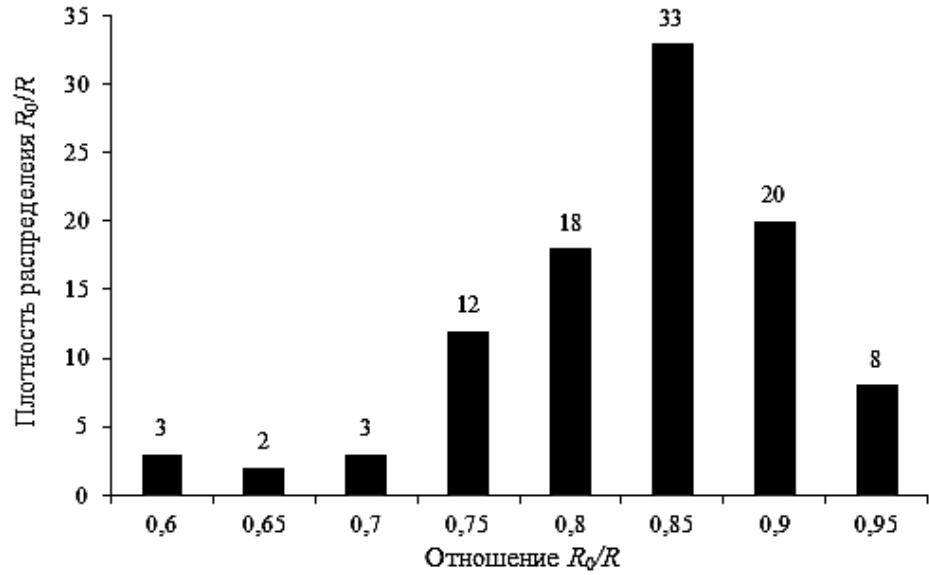


Рис. 8. Плотность распределения главной относительной деформации в радиальном направлении по диаметру сечения ствола

На рис. 9 приведена плотность распределения кармашков по диаметру сечения ствола в относительных координатах.

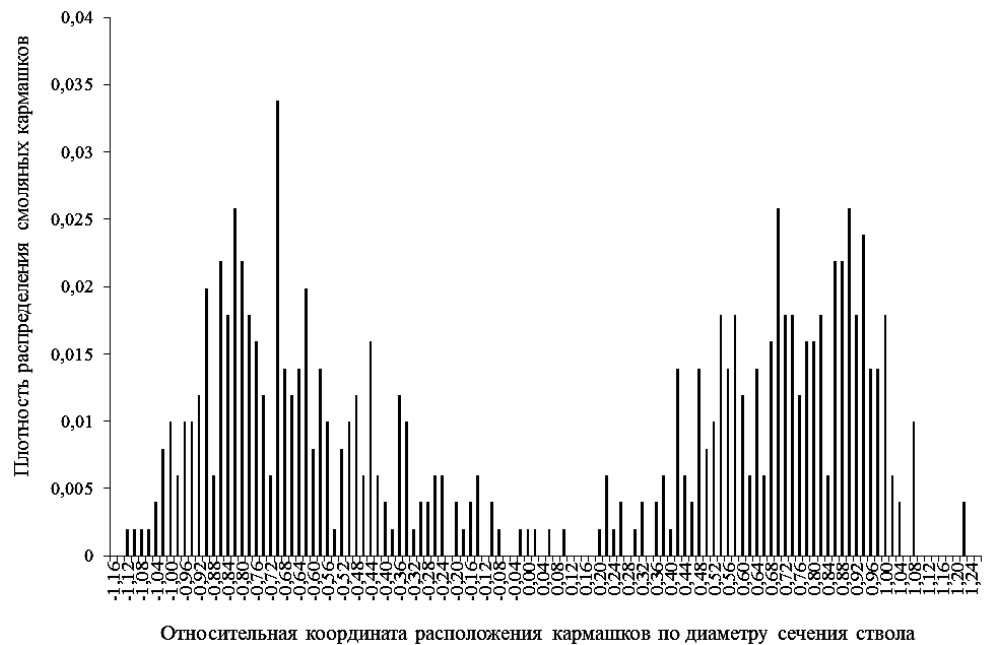


Рис. 9. Распределение количества кармашков по диаметру сечения ствола

Выводы

1. При размере ядровой зоны $(0,8...0,9)R$ начальное напряжение распределяется по радиусу сечения ствола дерева в виде параболоида 14-й степени.
2. Наибольшее количество смоляных кармашков расположено в зоне ствола, в которой главная относительная деформация в радиальном направлении достигает максимального значения.
3. Полученные математические модели напряжений и деформаций в деревьях с учетом ветровой нагрузки позволяют совершенствовать схемы раскроя пиловочника в целях получения высококачественных пиломатериалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ашкенази Е.К.* Анизотропия древесины и древесных материалов. М.: Лесн. пром-сть, 1978. 224 с.
2. *Белов С.В.* Ветер – главный фактор, определяющий форму стволов деревьев и их устойчивость // Лесоводство, лесные культуры и почвоведение: межвуз. сб. науч. тр. Вып. III. Л.: ЛТА, 1974. С. 3–24.
3. *Глухих В.Н.* К вопросу о напряжениях в стволе дерева из-за собственного веса // Леса России в XXI веке: материалы 5-й междунар. науч.-практ. конф. СПб., 2010. С. 5–11.
4. *Глухих В.Н., Акоюн А.Л.* Начальные напряжения в древесине: моногр. СПб.: СПбГАСУ, 2016. 118 с.
5. *Глухих В.Н., Черных А.Г.* Анизотропия древесины. Технологический аспект: моногр. СПб.: СПбГАСУ, 2013. 240 с.
6. ГОСТ 2140–81. Видимые пороки древесины. Классификация, термины и определения, способы измерения. М.: Изд-во стандартов, 1981. 118 с.
7. *Иванов Л.А.* Биологические основы добывания терпентина в СССР. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1940. 289 с.
8. *Кузнецов А.И.* Внутренние напряжения в древесине. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1950. 59 с.
9. *Леонтьев Н.Л.* Упругие деформации древесины. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1952. 120 с.
10. *Леонтьев Н.Л.* Влияние влажности на физико-механические свойства древесины. М.: Гослесбумиздат, 1962. 114 с.
11. *Лехницкий С.Г.* Теория упругости анизотропного тела. 2-е изд., перераб и доп. М.: Наука, 1977. 416 с.
12. *Чахов Д.К., Докторов И.А, Лавров М.Ф., Охлопкова А.Ю., Семенова С.А.* Оценка качества древесного сырья хвойных пород, произрастающих в Якутии: отчет о НИР (1 этап). Якутск, 2011. 116 с.
13. *Crown D.J.* Resin Pockets: Their Occurrence and Formation in New Zealand Forests // New Zealand Journal of Forestry. 1973. Vol. 18(2). Pp. 233–251.
14. *Kübler H.* Studien über Wachstumsspannungen des Holzes – Erste Mitteilung: Die Ursache der Wachstumsspannungen und die Spannungen quer zur Faserrichtung // Holz als Roh- und Werkstoff. 1959. Vol. 17, iss. 1. Pp. 1–9.
15. *Lerm F.J.* A Method for Three-Dimensional Stem Analysis and Its Application in a Study on the Occurrence of Resin Pockets in *Pinus patula*: Master of Science in Forestry (Wood Products Science) Diss. South Africa, Stellenbosch, 2013. 116 p.

16. *Temnerud E., Valinger E., Sundberg B.* Induction of Resin Pockets in Seedlings of *Pinus sylvestris* L. by Mechanical Bending Stress During Growth // *Holzforschung*. 1999. Vol. 53, no. 4. Pp. 386–390.

17. *Ylinen A.* Über die mechanische Schaftformtheorie der Bäume // *Silva Fennica*. 1952. No. 76. 51 p.

18. *Wood C.J.* Understanding Wind Forces on Trees // *Wind and Trees*. Ed. by M.P. Coutts, J. Grace. Cambridge: Cambridge University Press, 1995. Pp. 133–164.

Поступила 15.03.17

UDC 674.038.1

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.35

Resin Pocket Formation in Tree Stems of Dahurian Larch

V.N. Glukhikh¹, Doctor of Engineering Sciences, Professor

A.Yu. Okhlopkova², Wood Process Engineer

¹Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Vtoraya Krasnoarmeyskaya ul., 4, Saint Petersburg, 190005, Russian Federation; e-mail: vnglukhikh@mail.ru

²Woodworking Complex “Asia Les”, per. Oblachnyi, 78A, off. 11, Khabarovsk, 680030, Russian Federation; e-mail: anna.okhlopkova@gmail.com

The paper analyzes the study results of native and foreign authors of the strain-stress state and distribution of internal stresses in a tree stem. The cyclic tensile and compressive stresses, arising at the wind load, are superimposed on the initial stresses when their further modifications in the tree growth process. The tree stem as a balanced system and a living organism strives to compensate the arising loads by increasing the density of cell walls and changing their structure – twisting. The occurrence of extreme loads and cyclic rocking loads can cause microdamages – cracks. The cavities of coniferous trees are filled with a natural antiseptic – resin. A further increase of cavities and filling of resin pockets occur under the influence of fluctuating compression and tensile stresses. In accordance with the nature of initial stresses in the radial and tangential directions, the pockets on the average are longer in the zones of the greatest radial tensile stresses. The goal of research is the substantiation of the location of the greatest resin pockets accumulation. Based on the fact that the shape of a trunk corresponds to the shape of a rod of equal resistance, in which the stresses in the outer fibers during bending should be the same over the entire height of the tree, we have calculated the circumferential and radial stresses along the radius of the stem cross section. Taking into account the relationship between the size of the core zone, stresses at the center and along the outline of the section and ultimate strength of wood under static bending and compression, the authors have used the distribution function of the initial longitudinal stress in the form of a paraboloid of the 14th degree to calculate the initial stresses in the Dahurian

For citation: Glukhikh V.N., Okhlopkova A.Yu. Resin Pocket Formation in Tree Stems of Dahurian Larch. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 5, pp. 35–52. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.35

larch stem by the material resistance methods. As a result, the epure of stem total stress has been obtained. According to the generalized Hooke's law, we have designed a distribution graph of the main relative strain in the radial direction along the diameter of the stem cross section. As a confirmation of the theory of the resin pockets formation, we have conducted the laboratory tests to determine the strength limits when static bending and compression along the fibers, taking into account the ratio of radii of heartwood and sapwood in the samples. The study of the pocket localization along the diameter of the stem cross section of Dahurian larch has proved that the greatest resin pockets accumulation is in the zone of maximum radial deformation.

Keywords: wood, tree stem, strain-stress state, internal and initial stress, growth stress, resin pocket, Dahurian larch.

REFERENCES

1. Ashkenazi E.K. *Anizotropiya drevesiny i drevesnykh materialov* [Anisotropy of Wood and Wood Materials]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1978. 224 p. (In Russ.)
2. Belov S.V. Veter – glavnyy faktor, opredelyayushchiy formu stvolov derev'ev i ikh ustoychivost' [The Wind as the Main Factor Determining the Shape of Tree Stems and Their Stability]. *Lesovodstvo, lesnye kul'tury i pochvovedenie* [Forestry, Forest Cultures and Soil Science]. Leningrad, 1974, iss. III, pp. 3–24.
3. Glukhikh V.N. K voprosu o napryazheniyakh v stvole dereva iz-za sobstvennogo vesa: [On the Stresses in a Tree Stem Because of Its Own Weight] materialy 5-y mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Lesnaya Rossii v XXI veke» Proc. 5th Inter. Sci. and Practical Conf. “Forests of Russia in the 21st Century”. Saint Petersburg, 2010, pp. 5–11. (In Russ.)
4. Glukhikh V.N., Akopyan A.L. *Nachal'nye napryazheniya v drevesine: monogr.* [Initial Stresses in Wood]. Saint Petersburg, SPSUACE Publ., 2016. 118 p. (In Russ.)
5. Glukhikh V.N., Chernykh A.G. *Anizotropiya drevesiny. Tekhnologicheskii aspekt: monogr.* [Anisotropy of Wood. Technological Aspect]. Saint Petersburg, SPSUACE Publ., 2013. 240 p. (In Russ.)
6. *GOST 2140–81. Vidimye poroki drevesiny. Klassifikatsiya, terminy i opredeleniya, sposoby izmereniya* [State Standard 2140–81. Visible Defects of Wood. Classification, Terms and Definitions, Methods of Measurement]. Moscow, Standartinform Publ., 1981. 118 p.
7. Ivanov L.A. *Biologicheskie osnovy dobyvaniya terpentina v SSSR* [Biological Basis for the Terpentine Extraction in the USSR]. Moscow; Leningrad, Goslesbumizdat Publ., 1940. 289 p. (In Russ.)
8. Kuznetsov A.I. *Vnutrennie napryazheniya v drevesine* [Internal Stresses in Wood]. Moscow; Leningrad, Goslesbumizdat Publ., 1950. 59 p. (In Russ.)
9. Leont'ev N.L. *Uprugie deformatsii drevesiny* [Elastic Deformation of Wood]. Moscow; Leningrad, Goslesbumizdat Publ., 1952. 120 p. (In Russ.)
10. Leont'ev N.L. *Vliyanie vlazhnosti na fiziko-mekhanicheskie svoystva drevesiny* [The Moisture Effect on the Physical and Mechanical Properties of Wood]. Moscow, Goslesbumizdat Publ., 1962. 114 p. (In Russ.)
11. Lekhnitskiy S.G. *Teoriya uprugosti anizotropnogo tela* [The Anisotropic Theory of Elasticity]. Moscow, Nauka Publ., 1977. 416 p. (In Russ.)

12. Chakhov D.K., Doktorov I.A., Lavrov M.F., Okhlopkova A.Yu., Semenova S.A. *Otsenka kachestva drevesnogo syr'ya khvoynykh porod, proizrastayushchikh v Yakutii: otchet o NIR* [Quality Assessment of Wood Raw Materials of Coniferous Species Growing in Yakutia]. Yakutsk, 2011. 116 p. (In Russ.)
13. Crown D.J. Resin Pockets: Their Occurrence and Formation in New Zealand Forests. *New Zealand Journal of Forestry*, 1973, vol. 18(2), pp. 233–251.
14. Kübler H. Studien über Wachstumsspannungen des Holzes – Erste Mitteilung: Die Ursache der Wachstumsspannungen und die Spannungen quer zur Faserrichtung. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 1959, vol. 17, iss. 1, pp. 1–9.
15. Lerm F.J. *A Method for Three-Dimensional Stem Analysis and Its Application in a Study on the Occurrence of Resin Pockets in Pinus patula*: Master of Science in Forestry (Wood Products Science) Diss. South Africa, Stellenbosch, 2013. 116 p.
16. Temnerud E., Valinger E., Sundberg B. Induction of Resin Pockets in Seedlings of *Pinus sylvestris* L. by Mechanical Bending Stress During Growth. *Holzforschung*, 1999, vol. 53, no. 4, pp. 386–390.
17. Ylinen A. Über die mechanische Schaftformtheorie der Bäume. *Silva Fennica*, 1952, no. 76. 51 p.
18. Wood C.J. Understanding Wind Forces on Trees. *Wind and Trees*. Ed. by M.P. Coutts, J. Grace. Cambridge, Cambridge University Press, 1995, pp. 133–164.

Received on March 15, 2017

УДК 630*5

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.53

НОРМАТИВЫ ТАКСАЦИИ ОЛЬХОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ МЕТОДОМ РЕЛАСКОПИЧЕСКИХ КРУГОВЫХ ПЛОЩАДОК

С.В. Коптев¹, д-р с.-х. наук, зав. каф.

С.В. Третьяков¹, д-р с.-х. наук, проф.

А.П. Богданов^{1,2}, канд. с.-х. наук, ст. преп., науч. сотр.

А.С. Ильинцев^{1,2}, ассист., млад. науч. сотр.

С.А. Демиденко^{1,2}, ст. преп., науч. сотр.

¹Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: s.v.koptev@narfu, s.v.tretyakov@narfu.ru, aleksandr_bogd@mail.ru, Ilintsev666@yandex.ru, s.demidenko@narfu.ru

²Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства, ул. Никитова, д. 13, г. Архангельск, Россия, 163062; e-mail: aleksandr_bogd@mail.ru, Ilintsev666@yandex.ru, s.demidenko@narfu.ru

На основе результатов изучения, закономерностей строения, роста, продуктивности модальных древостоев ольхи серой на территории Архангельской области разработаны товарные таблицы для таксации древостоев методом круговых реласкопических площадок (для деловой части древостоя), радиусы круговых площадок (деревья с коэффициентами 0,5 м²/га и 1,0 м²/га), таблицы перехода от диаметра пня к диаметру на высоте груди. Разработанные нормативы предназначены для таксации ольховых древостоев на лесосеках сплошного и выборочного хозяйства методом закладки круговых реласкопических площадок при проведении работ на территории Архангельской области в пределах Северо-таежного и Двинско-Вычегодского таежного районов европейской части Российской Федерации. Сбор полевого материала проведен на территории Каргопольского, Вельского, Няндома и Архангельского лесничеств, Кенозерского национального парка, а также дендрологического сада Северного научно-исследовательского института лесного хозяйства. В работе использованы полевые материалы, полученные за период с 2013 по 2015 г. (124 пробные площади для изучения ольхи серой с обмером 120 модельных деревьев). Количественная представленность экспериментальных материалов обоснована применяемым методом построения разрядных шкал. Обработка полевого материала проведена общепринятыми в лесной таксации методами. Предлагаемые новые подходы к использованию метода круговых реласкопических площадок (особенно на участках несплошных рубок), достаточно высокая точность и низкая трудоемкость метода способствуют расширению его использования в практике лесоучетных работ.

Ключевые слова: ольховые древостои, метод круговых реласкопических площадок, нормативы таксации.

Для цитирования: Коптев С.В., Третьяков С.В., Богданов А.П., Ильинцев А.С., Демиденко С.А. Нормативы таксации ольховых древостоев методом реласкопических круговых площадок // Лесн. журн. 2017. № 5. С. 53–63. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.53

Введение

Таксация лесосечного фонда, государственная инвентаризация лесов, другие лесосчетные и экспериментальные работы все чаще используют в своем арсенале дистанционные методы определения таксационных параметров. Эти методы значительно снижают затраты труда и времени [14, 15, 18–21]. Отсутствие разработанных нормативов ограничивает возможности повышения точности лесосчетных работ для ольхи серой, которая произрастает в Архангельской области [11], имеет широкое распространение на территории России и за ее пределами [16, 17]. В целях совершенствования метода возможно применение современных технологий, инструментов и приборов. Один из наиболее популярных методов в последнее время – метод круговых реласкопических площадок, который позволяет с достаточно высокой точностью и без проведения пересчета деревьев по толщине определять суммы площадей сечений деревьев в пересчете на 1 га. Запас древостоев получают путем использования закономерных связей суммы площадей сечений (G) с формой ствола, характеризуемой видовым числом (F) и средней высотой (H) [1, 2, 20]. Запас при таксации разделяют на деловую и дровяную части.

Точность метода реласкопических круговых площадок во многом зависит от подготовленности исполнителя. Во время полевой тренировки на специальных пробных площадях запас древостоев определяется с достаточно высокой точностью. Дальнейшая точность распределения полученного запаса деловой древесины на сортименты (категории крупности) полностью зависит от таксационных нормативов, с помощью которых выполняют это распределение. Важно в сомнительных случаях проводить уточнение размерных характеристик пороков древесных стволов, определяющих отнесение к качественной категории, так как дистанционно это не всегда возможно и неизбежны ошибки в оценке товарности древостоя.

В применяемых в настоящее время нормативах – товарных таблицах для таксации методом круговых площадок – распределение запаса деловых деревьев на категории крупности определяется только древесной породой и средним диаметром. Тем не менее, разница при определении выхода отдельных сортиментов (категорий крупности) для разных разрядов высот достигает 5 %. Поэтому нами предложено ввести в нормативы, кроме среднего диаметра, дополнительный параметр – среднюю высоту древостоя.

Цель – разработка новых нормативных материалов для оценки товарности сероольховых древостоев на основе широкого применения в практике лесосчетных работ метода круговых реласкопических площадок для повышения точности оценки товарной структуры, а также определения запаса древостоев при обследовании участков несплошных рубок, когда часть деревьев древостоя отсутствует.

Объекты и методы исследования

Предлагаемые нами таблицы построены на основе региональных сортиментных таблиц и рядов распределений числа деловых деревьев по ступеням толщины для древостоев ольхи серой, разработанных авторами [12].

Для изучения товарности насаждений ольхи серой на территории Архангельской области (Каргопольский, Вельский, Няндомский районы, южная часть Плесецкого района) было заложено 147 пробных площадей, а также срублено, обмерено и раскряжевано на сортименты 120 модельных деревьев. Пробные площади закладывали с учетом требований ОСТ 56-69-83 [10], рекомендаций А.Г. Мошкалева [8] и по методике, разработанной кафедрой лесной таксации и лесоустройства АЛТИ-АГТУ-САФУ и изложенной в трудах И.И. Гусева, С.В. Коптева [6, 7], в чистых модальных для района исследований по полноте, составу и продуктивности древостоях. Размер пробных площадей определяли величиной изменчивости общего признака (таксационного диаметра деревьев). Перечислительную таксацию проводили по диаметру на высоте 1,3 м в коре и качественным категориям годности (деловые, полуделовые, дровяные). Для каждого дерева отмечали наличие пороков, влияющих на товарность, а также плодовых тел дереворазрушающих грибов. При обработке пробных площадей использовали общепринятые методы лесной таксации [1, 2].

Срубленные модельные деревья распределяли по принципу пропорционального представительства деревьев каждой ступени толщины [6, 7]. При этом выбирали из общего числа стволов как деловые, так и дровяные деревья. Модельные деревья раскряжевывали на отрезки деловой древесины, сырье для технологической переработки и топливных дров. Разделку проводили в соответствии с ГОСТ 9462-88 на круглые лесоматериалы [5]; ОСТ 13-76-79 на сырье для технологической переработки [9]; ТУ 13-0273685-404-89 на дровяную древесину для технологических нужд [13]; ГОСТ 3243-88 [4] и ГОСТ 2140-81 на пороки древесины [3]. Границу между деловой и дровяной частью ствола определяли по диаметру в верхнем отрезе последнего сортимента и наличию пороков.

Результаты исследования и их обсуждение

Для территории Архангельской области разработаны таблицы определения товарной структуры при таксации насаждений методом закладки круговых реласкопических площадок.

Представленная товарная таблица предназначена для деловой части древостоя (табл. 1), имеет стандартные входные данные, дополнительно – разряд высот. Для всех деревьев, отнесенных к дровяным и половине полуделовых, товарную структуру не определяли в предположении, что из них можно получить только дровяную древесину.

Метод круговых реласкопических площадок нашел достаточно широкое применение в практике лесной таксации. Но существует ряд ограничений, снижающих его точность или полностью препятствующих его применению. Для использования этого метода при таксации участков несплошных рубок, мест незаконных рубок и других участков леса с частичной выборкой деревьев или наличием большого количества крупномерного подроста одним из необходимых вспомогательных нормативов становится таблица радиусов круговых площадок.

Таблица 1

**Товарные таблицы для таксации древостоев ольхи серой
методом круговых реласкопических площадок (для деловой части древостоя)**

Средний диаметр древостоя, см	Средняя высота древостоя, м	Деловая древесина, %				Дрова, %		Отходы, %
		крупная	средняя	мелкая	всего	сырье для технологической переработки	дрова топливные	
14	9	0	33	45	78	5	2	15
	11	0	35	45	80	4	2	14
	12	0	37	44	81	4	2	13
16	14	0	38	44	82	4	2	12
	10	1	44	36	81	3	1	15
	12	1	45	35	81	3	2	14
	14	2	47	34	83	3	2	12
18	15	2	49	33	84	3	2	11
	12	3	50	28	81	3	1	15
	13	4	53	26	83	3	1	13
	15	5	54	25	84	2	2	12
20	17	6	55	24	85	2	2	11
	12	7	53	22	82	2	1	15
	14	8	55	21	84	2	1	13
	16	10	56	19	85	2	2	11
22	18	11	57	18	86	2	2	10
	14	12	53	18	83	2	1	14
	16	14	54	16	84	2	1	13
	18	16	54	15	85	2	2	11
24	19	18	54	14	86	2	2	10
	14	18	51	15	84	1	1	14
	17	21	51	13	85	1	1	13
	19	23	50	12	85	2	2	11
26	20	25	50	11	86	2	2	10
	15	24	48	12	84	1	1	14
	17	27	47	11	85	1	2	12
	20	30	46	9	85	2	2	11
28	22	31	46	9	86	2	3	9
	16	30	44	10	84	1	1	14
	18	33	43	9	85	1	2	12
	21	36	41	8	85	2	2	11
	23	39	40	7	86	2	3	9

Разработанная нами подобная таблица позволяет определить «входимость» срубленных деревьев в реласкопическую круговую площадку на основании замеров диаметра и высоты пня, а также расстояния до пня (или дерева) от центра круговой площадки (табл. 2).

Таблица 2

**Радиусы реласкопических круговых площадок для древостоев ольхи серой
Северо-таежного и Двинско-Вычегодского таежного районов**

Диаметр пня на верхнем срезе, см	Радиус площадки, м, при высоте пня, см		
	0	10	20
8	2,42	2,68	2,74
10	3,16	3,45	3,55
12	3,90	4,22	4,36
14	4,63	4,99	5,18
16	5,37	5,76	5,99
18	6,11	6,53	6,80
20	6,84	7,31	7,62
22	7,58	8,08	8,43
24	8,32	8,85	9,24
26	9,06	9,62	10,06
28	9,79	10,39	10,87
30	10,53	11,17	11,68
32	11,27	11,94	12,50
34	12,00	12,71	13,31
36	12,74	13,48	14,12
38	13,48	14,25	14,94
40	14,21	15,03	15,75
42	14,95	15,80	16,56
44	15,69	16,57	17,37

Для определения радиусов круговых площадок ($R_{к.п}$) за пределами табличных данных установлена их закономерная связь $R_{к.п}$ с диаметром (D) и высотой (H) пня (рис. 1):

$$R_{к.п} = -0,904570 + 0,395781D + 7,945095H; \quad m = 0,45; \quad R^2 = 0,99.$$

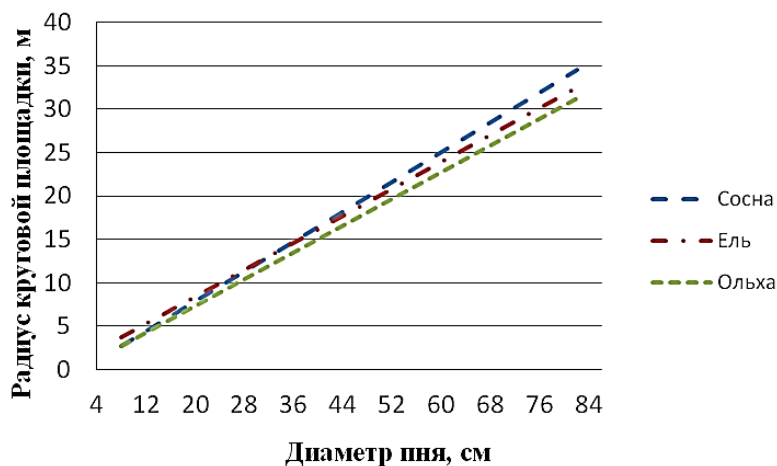


Рис. 1. Зависимость радиуса круговой площадки от диаметра пня для деревьев различных пород при средней высоте пня 0,1 м

Для восстановления дорубочных характеристик древостоев необходимы нормативы перехода от диаметра пня к диаметру на высоте груди. Различные варианты входных и выходных данных позволяют более гибко использовать установленные закономерности (табл. 3, 4).

Таблица 3

Диаметр пня ольхи серой в зависимости от диаметра дерева на высоте 1,3 м

Диаметр дерева, см, на высоте 1,3 м	Диаметр пня, см, при его высоте, см			
	0	10	20	30
10	13,7	12,5	11,9	11,4
12	16,1	14,9	14,2	13,7
14	18,6	17,3	16,6	16,0
16	21,0	19,7	18,9	18,3
18	23,5	22,1	21,2	20,5
20	25,9	24,5	23,6	22,8
22	28,4	27,0	25,9	25,1
24	30,8	29,4	28,3	27,4
26	33,3	31,8	30,6	29,7
28	35,7	34,2	32,9	32,0
30	38,2	36,6	35,3	34,3
32	40,6	39,0	37,6	36,5
34	43,1	41,4	40,0	38,8
36	45,5	43,8	42,3	41,1
38	48,0	46,2	44,6	43,4
40	50,4	48,6	47,0	45,7

Таблица 4

Диаметр дерева ольхи серой на высоте 1,3 м в зависимости от диаметра пня

Диаметр пня, см	Диаметр на высоте груди, см, при высоте пня, см			
	0	10	20	30
6	4,8	5,4	5,5	5,6
8	6,3	6,9	7,1	7,3
10	7,8	8,4	8,7	9,0
12	9,3	10,0	10,4	10,7
14	10,7	11,5	12,0	12,4
16	12,2	13,1	13,6	14,1
18	13,7	14,6	15,2	15,8
20	15,2	16,2	16,9	17,4
22	16,6	17,7	18,5	19,1
24	18,1	19,2	20,1	20,8
26	19,6	20,8	21,7	22,5
28	21,1	22,3	23,4	24,2
30	22,5	23,9	25,0	25,9
32	24,0	25,4	26,6	27,6
34	25,5	27,0	28,2	29,3
36	27,0	28,5	29,9	30,9
38	28,4	30,1	31,5	32,6
40	29,9	31,6	33,1	34,3
42	31,4	33,1	34,7	36,0
44	32,8	34,7	36,4	37,7

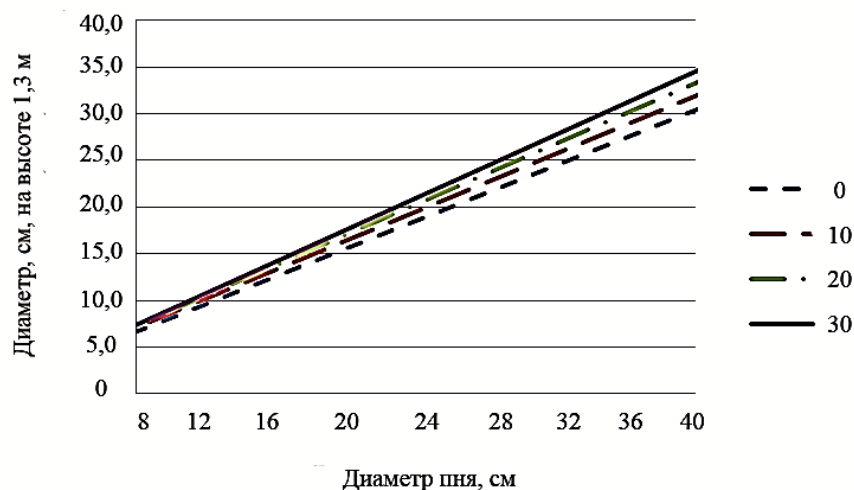


Рис. 2. Зависимость диаметра на высоте груди (1,3 м) ольхи серой от диаметра пня при его высоте, см: 0, 10, 20, 30

Для получения данных, находящихся за пределами табличных, разработаны уравнения связи таксационного диаметра ольхи ($D_{1,3}$) с диаметром пня ($D_{п}$) при его различной высоте (рис. 2):

$$D_{1,3} = a + b D_{п}.$$

Значения коэффициентов и статистические характеристики уравнений приведены в табл. 5.

Таблица 5

Уравнения связи диаметра дерева ольхи серой на высоте 1,3 м с диаметром пня

Коэффициенты и характеристики уравнений	Высота пня, см			
	0	10	20	30
a	0,424	0,718	0,593	0,561
b	0,736	0,772	0,813	0,844
Основная ошибка уравнения (m)	0,32	0,26	0,22	0,18
Показатель меры связи (R^2)	0,91	0,93	0,95	0,96

Величина основной ошибки, находящаяся в пределах точности измерений, и высокие показатели меры связи свидетельствуют о возможности использования полученных уравнений.

Заключение

Впервые разработаны таблицы для оценки товарной структуры древостоев ольхи серой на территории Архангельской области при таксации методом круговых реласкопических площадок. Предложены оригинальные нормативы для уточнения радиусов круговых площадок по диаметру пней, определения дорубочных характеристик древостоев.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Анучин Н.П.* Лесная таксация: учеб. для вузов. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 552 с.
2. *Верхунов П.М., Черных В.Л.* Таксация леса: учеб. пособие. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2007. 398 с.
3. ГОСТ 2140–81. Видимые пороки древесины. Классификация, термины и определения, способы измерения. Введ. 1982–01–01. М.: Изд-во стандартов, 1982. 111 с.
4. ГОСТ 3243–88. Дрова. Технические условия. Введ. 1990–01–01. М.: Изд-во стандартов, 1989. 7 с.
5. ГОСТ 9462–88. Лесоматериалы круглые лиственных пород. Технические условия. Введ. 1991–01–01. М.: Изд-во стандартов, 1988. 11 с.
6. *Гусев И.И., Коптев С.В.* Сортиментная структура северотаежных ельников // Лесн. журн. 1991. № 4. С. 3–11. (Изв. высш. учеб. заведений).
7. *Гусев И.И., Коптев С.В.* Товарные таблицы северотаежных ельников // Лесн. журн. 1992. № 1. С. 9–15. (Изв. высш. учеб. заведений).
8. *Мошкалев А.Г., Книзе А.А., Ксенофонтов Н.И., Уланов Н.С.* Таксация товарной структуры древостоев. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 157 с.
9. ОСТ 13-76–79. Сырье древесное для технологической переработки. Технические условия. Введ. с 1979–05–25 по 1984–05–25. М.: Изд-во стандартов, 1979. 6 с.
10. ОСТ 56-69–83. Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки. Введ. 1984–01–01. М.: ЦБПТИ Гослесхоза СССР, 1984. 60 с.
11. *Тимофеева А.В.* Распространение ольхи серой на территории Архангельской области // Состояние лесов и актуальные проблемы лесопользования: материалы Всерос. конф. с междунар. участием. Хабаровск, 2013. С. 79–82.
12. *Третьяков С.В., Богданов А.П., Демиденко С.А., Тимофеева А.В., Федотов И.В., Ильинцев А.С., Коптев С.В.* Нормативы для таксации сортиментной структуры ольховых древостоев, произрастающих на территории Архангельской области // Экологические проблемы Арктики и северных территорий: межвуз. сб. науч. тр. / Отв. ред. П.А. Феклистов. Вып. 19. Архангельск, 2016. С. 190–193.
13. ТУ 13-0273685-404–89. Дровяная древесина для технологических нужд. М.: ВНПОлеспром, 1989. 4 с.
14. *Becker P., Nichols T.* Effects of Basal Area Factor and Plot Size on Precision and Accuracy of Forest Inventory Estimates // Northern Journal of Applied Forestry. 2011. Vol. 28, no. 3. Pp. 152–156.
15. *Borders B.E., Harrison W.M., Clutter M.L., Shiver B.D., Souter R.A.* The Value of Timber Inventory Information for Management Planning // Canadian Journal of Forest Research. 2008. Vol. 38, no. 8. Pp. 2287–2294.
16. *Houston Durrant T., de Rigo D., Caudullo G.* *Alnus incana* in Europe: Distribution, Habitat, Usage and Threats // European Atlas of Forest Tree Species / ed. by San-Miguel Ayanz J., de Rigo D., Caudullo G., Houston Durrant T., Mauri A. EU, Luxembourg: Publ. Off., 2016. Pp. 01–87.
17. *Hytteborn H., Maslov A.A., Nazimova D.I., Rysin L.P.* Ecosystems of the World. Vol. 6: Coniferous Forests / Ed. by F.A. Andersson. Amsterdam, Elsevier, 2005. Pp. 23–100.
18. *Lowell K.E.* An Empirical Evaluation of Spatially Based Forest Inventory Samples // Canadian Journal of Forest Research. 1997. Vol. 27, no. 3. Pp. 352–360.
19. *Marquardt T., Temesgen H., Anderson P.D.* Accuracy and Suitability of Selected Sampling Methods within Conifer Dominated Riparian Zones // Forest Ecology and Management. 2010. Vol. 260, iss. 3. Pp. 313–320.

20. *Matern B.* The Precision of Basal Area Estimates // *Forest Science*. 1972. Vol. 18, no. 2. Pp. 123–125.

21. *Rice B., Weiskittel A.R., Wagner R.G.* Efficiency of Alternative Forest Inventory Methods in Partially Harvested Stands // *European Journal of Forest Research*. 2014. Vol. 133, iss. 2. Pp. 261–272.

Поступила 20.02.17

UDC 630*5

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.53

Forest Inventory Norms of Alder Stands by the Relascope Circular Plot Method

*S.V. Koptev*¹, *Doctor of Agricultural Sciences, Head of Department*

*S.V. Tret'yakov*¹, *Doctor of Agricultural Sciences, Professor*

A.P. Bogdanov^{1,2}, *Candidate of Agricultural Sciences, Senior Lecturer, Research Officer*

A.S. Il'intsev^{1,2}, *Research Assistant*

S.A. Demidenko^{1,2}, *Senior Lecturer, Research Officer*

¹Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: s.v.koptev@narfu.ru, s.v.tret'yakov@narfu.ru, aleksandr_bogd@mail.ru, Iintsev666@yandex.ru, s.demidenko@narfu.ru

²Northern Research Institute of Forestry, ul. Nikitova, 13, Arkhangelsk, 163062, Russian Federation; e-mail: aleksandr_bogd@mail.ru, Iintsev666@yandex.ru, s.demidenko@narfu.ru

The regularities of the structure, growth, productivity of grey alder modal stands on the territory of the Arkhangelsk region were studied. As a result, we developed stand assortment tables by the relascope circular plot method for commercial wood, radii of circular plots for trees with coefficients of 0.5 m²/ha and 1.0 m²/ha, transition tables from the stump diameter to the breast height diameter. The developed standards are intended for alder stand taxation on the felling areas of the clear-felling and selection system by the relascope circular plot method in the Arkhangelsk region within the Northern taiga and Dvina-Vycheгда taiga regions of the European part of the Russian Federation. Field data was collected in the Kargopol, Velsk, Nyandoma and Arkhangelsk forestries, Kenozero National Park, dendrological garden of the Northern Research Institute of Forestry. We used field data obtained from 2013 to 2015 (124 sample plots for grey alder studying with measuring of 120 model trees). The quantitative diversity of experimental materials is justified by the method used to construct the rank scales. The field data processing was carried out by methods generally accepted in forest inventory. The proposed new approaches to the use of the relascope circular plot method (especially on sites of partial cutting), sufficiently high accuracy and low labour intensity contribute to the use of this method in forest inventory.

Keywords: alder stand, relascope circular plot method, forest inventory norms.

For citation: Koptev S.V., Tret'yakov S.V., Bogdanov A.P., Il'intsev A.S., Demidenko S.A. Forest Inventory Norms of Alder Stands by the Relascope Circular Plot Method. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 5, pp. 53–63. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.53

REFERENCES

1. Anuchin N.P. *Lesnaya taksatsiya* [Forest Inventory]. Moscow, 1982. 552 p. (In Russ.)
2. Verkhunov P.M., Chernykh V.L. *Taksatsiya lesa* [Forest Inventory]. Yoshkar-Ola, 2007. 398 p. (In Russ.)
3. *GOST 2140–81. Vidimye poroki drevesiny. Klassifikatsiya, terminy i opredeleniya, sposoby izmereniya* [State Standard 2140–81. Visible Flaws in Wood. Classification, Terms and Definitions, Methods of Measurement]. Moscow, Standartinform Publ., 1982. 111 p.
4. *GOST 3243–88. Drova. Tekhnicheskie usloviya* [State Standard 3243–88. Firewood. General Specifications]. Moscow, Standartinform Publ., 1989. 7 p.
5. *GOST 9462–88. Lesomaterialy kruglye listvennykh porod. Tekhnicheskie usloviya* [State Standard 9462–88. Round Hardwood. General Specifications]. Moscow, Standartinform Publ., 1988. 11 p.
6. Gusev I.I., Koptev S.V. Sortimentnaya struktura severotaezhnykh el'nikov [Assortment Structure of the North Taiga Spruce Forests]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 1991, no. 4, pp. 3–11.
7. Gusev I.I., Koptev S.V. Tovarnye tablitsy severotaezhnykh el'nikov [Stand Assortment Tables of the North Taiga Spruce Forests]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 1992, no. 1, pp. 9–15.
8. Moshkalev A.G., Knize A.A., Ksenofontov N.I., Ulanov N.S. *Taksatsiya tovarnoy struktury drevostoev* [Inventory of the Commodity Structure of Forest Stands]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1982. 157 p. (In Russ.)
9. *OST 13-76–79. Syr'e drevesnoe dlya tekhnologicheskoy pererabotki. Tekhnicheskie usloviya* [Industrial Standard 13-76–79. Wood Raw Material for Processing. General Specifications]. Moscow, Standartinform Publ., 1979. 6 p.
10. *OST 56-69–83. Ploshchadi probnye lesoustroitel'nye. Metod zakladki* [Industrial Standard 56-69–83. Forest Surveying Sample Plots. Coupe Demarcation Method]. Moscow, TsBPTI Gosleskhoza SSSR, 1984. 60 p.
11. Timofeeva A.V. Rasprostranenie ol'khi seroy na territorii Arkhangel'skoy oblasti [Distribution of Grey Alder in the Arkhangelsk Region]. Sostoyanie lesov i actual'nye problemy lesoupravleniya: materialy Vserossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. [Grey State of Forests and Actual Problems of Forest Management: Prac. All-Russ. Conf. with Intern. Part]. Khabarovsk, 2013, pp. 79–82. (In Russ.)
12. Tret'yakov S.V., Bogdanov A.P., Demidenko S.A., Timofeeva A.V., Fedotov I.V., Il'intsev A.S., Koptev S.V. Normativy dlya taksatsii sortimentnoy struktury ol'khovykh drevostoev, proizrastayushchikh na territorii Arkhangel'skoy oblasti [Forest Inventory Norms for the Assortment Structure of Alder Stands Growing in the Arkhangelsk Region]. *Ekologicheskie problemy Arktiki i severnykh territoriy* [Environmental Problems of the Arctic and Northern Territories]. Ed. by P.A. Feklistov. Iss. 19. Arkhangelsk, 2016, pp. 190–193. (In Russ.)
13. *TU 13-0273685-404–89. Drovyanaya drevesina dlya tekhnologicheskikh nuzhd* [Technical Specifications 13-0273685-404–89. Firewood for Industrial Requirements]. Moscow, VNPOlesprom, 1989. 4 p.
14. Becker P., Nichols T. Effects of Basal Area Factor and Plot Size on Precision and Accuracy of Forest Inventory Estimates. *Northern Journal of Applied Forestry*, 2011, vol. 28, no. 3, pp. 152–156.

15. Borders B.E., Harrison W.M., Clutter M.L., Shiver B.D., Souter R.A. The Value of Timber Inventory Information for Management Planning. *Canadian Journal of Forest Research*, 2008, vol. 38, no. 8, pp. 2287–2294.

16. Houston Durrant T., de Rigo D., Caudullo G. *Alnus incana* in Europe: Distribution, Habitat, Usage and Threats. *European Atlas of Forest Tree Species*. Ed. by San-Miguel Ayanz J., de Rigo D., Caudullo G., Houston Durrant T., Mauri A. EU, Luxembourg, Publ. Off., 2016, pp. 01–87.

17. Hytteborn H., Maslov A.A., Nazimova D.I., Rysin L.P. Boreal Forests of Eurasia. *Ecosystems of the World, Vol. 6: Coniferous Forests*, ed. by F.A. Andersson. Amsterdam, Elsevier, 2005, pp. 23–100.

18. Lowell K.E. An Empirical Evaluation of Spatially Based Forest Inventory Samples. *Canadian Journal of Forest Research*, 1997, vol. 27, no. 3, pp. 352–360.

19. Marquardt T., Temesgen H., Anderson P.D. Accuracy and Suitability of Selected Sampling Methods within Conifer Dominated Riparian Zones. *Forest Ecology and Management*, 2010, vol. 260, iss. 3, pp. 313–320.

20. Matern B. The Precision of Basal Area Estimates. *Forest Science*, 1972, vol. 18, no. 2, pp. 123–125.

21. Rice B., Weiskittel A.R., Wagner R.G. Efficiency of Alternative Forest Inventory Methods in Partially Harvested Stands. *European Journal of Forest Research*, 2014, vol. 133, iss. 2, pp. 261–272.

Received on February 20, 2017

УДК 630*813.3

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.64

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ДРЕВЕСИНЕ СОСНЫ И ЕЛИ

Н.В. Килюшева¹, соискатель (асп.)

П.А. Феклистов¹, д-р с.-х. наук, проф.

Н.В. Ежова², канд. с.-х. наук, зам. лесничего

И.Н. Болотов¹, д-р биол. наук

Б.Ю. Филиппов¹, д-р биол. наук

¹Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: n.volkova@narfu.ru

²Приморское участковое лесничество Архангельского лесничества – филиал ФГКУ «УЛХиП» Минобороны России, просп. Советских Космонавтов, д. 181, корп. 1, каб. 29, г. Архангельск, Россия, 163000; e-mail: aspirant.10@mail.ru

Минеральные элементы играют важную роль в развитии всех древесных растений. Содержание минеральных компонентов зависит как от породного состава насаждения, так и от климатических и эдафических факторов конкретных местообитаний. Цель исследований – сравнительный анализ содержания химических элементов в древесине сосны обыкновенной и ели обыкновенной в черничных типах леса (в Приморском участковом лесничестве Архангельского лесничества), поиск закономерностей, связанных с категорией состояния деревьев и поперечным сечением ствола. Определение содержания минеральных элементов и тяжелых металлов выполнено посредством рентгенофлуоресцентного анализа, проведенного на волнодисперсном спектрометре. Исходным материалом служили керны древесины, взятые возрастным буром Пресслера из центральной и периферийной частей ствола ели, из ядра и заболони сосны. Для проведения анализа предварительно высушенные до абсолютно сухого состояния в сушильном шкафу и измельченные пробы прессовали в таблетки. Общее количество проб – 50 штук. Для обеих пород ряд аккумуляции минеральных элементов: Ca > K > Mg > Fe > S > P. В древесине сосны и ели больше всего содержится кальция и калия, на порядок меньше магния, железа, серы, меди, фосфора. В 2 раза больше меди и свинца содержится в центральной части ствола, кальция и калия – в периферийной части. Больше элементов накапливается у здоровых деревьев сосны, для остальных категорий – у ели, причем для обеих пород имеется тренд уменьшения их количества с ухудшением состояния деревьев до сильно ослабленных. У усыхающих деревьев и сухостоя, наоборот, количество минеральных элементов несколько повышается, но остается меньшим, чем у здоровых. С ослаблением дерева уменьшается содержание кальция и увеличивается содержание таких

Для цитирования: Килюшева Н.В., Феклистов П.А., Ежова Н.В., Болотов И.Н., Филиппов Б.Ю. Сравнительный анализ содержания минеральных элементов в древесине сосны и ели // Лесн. журн. 2017. № 5. С. 64–72. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.64

тяжелых металлов, как цинк и медь. Содержание тяжелых металлов в древесине сосны превалирует: меди в 4–7 раз больше, чем в древесине ели, свинца – в 10–30 раз.

Ключевые слова: минеральные элементы, древесина, категория состояния, поперечное сечение ствола, аккумуляция, тяжелые металлы.

Введение

Минеральных элементов в вегетативных органах древесных растений содержится крайне мало [5, 10]. Однако их роль нельзя недооценивать, ведь они входят в состав важнейших соединений (белков, аденозинтрифосфата (АТФ), хлорофилла и др.), без которых жизнь древесных растений невозможна. Вегетативные органы различаются зольностью и химическим составом минеральных элементов [11]. Сведения о содержании минеральных элементов можно найти в литературе, но для других регионов [3, 4, 7 и др.]. Минеральные элементы поглощаются корнями и продвигаются по ксилеме (древесине) вместе с током воды. В связи с этим важно знать их содержание в разных частях древесины по сечению ствола. В периферийной древесине растущих деревьев (для ядровых пород – в заболони) в среднем 10 % клеток – живые, околосердцевинная древесина является мертвой, в которой почти закончена лигнификация [9].

Сосна обыкновенная и ель обыкновенная существенно различаются своими биологическими особенностями, в частности корневой системой на дренированных почвах: у сосны – стержневая, у ели – поверхностная [6]. Отсюда можно предположить, что и минеральный состав древесины будет различен.

Содержание минеральных компонентов в органах растений характеризует условия их питания и воздействие антропогенных факторов на лесные сообщества [8]. Согласно [2], содержание элементов питания у основных лесобразующих пород обусловлено их генетическими особенностями и лишь во вторую очередь зависит от климатических и эдафических факторов конкретных местообитаний, в том числе от плодородия почвы и размера стволов.

Цель работы – анализ содержания минеральных элементов в древесине сосны обыкновенной и ели обыкновенной в черничных типах леса. Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

определить содержание химических элементов в древесине сосны и ели, дать их сравнительную характеристику;

выявить закономерность распределения химических элементов в поперечном сечении ствола сосны и ели;

найти взаимосвязь содержания химических элементов с категориями состояния деревьев.

Объекты и методы исследования

Подбор и закладку временных пробных площадей (ПП) выполняли с учетом требований ОСТ 56-69-83 и методик [1, 12]. Модельные деревья отбирали по средним диаметру и высоте, которые были установлены по данным

перечета на ПП, а также согласно категории состояния деревьев [13]. ПП закладывали в Приморском участковом лесничестве Архангельского лесничества (северная подзона тайги). Всего было заложено по пять ПП в ельнике черничном свежем и в сосняке черничном свежем (табл. 1). Все ПП или чистые по составу, или с небольшой примесью других пород (до 3 ед.), близки по возрасту III-IV классам возраста.

Таблица 1

Лесоводственно-таксационная характеристика древостоев на ПП

№ ПП	Состав	Порода	Средние		Возраст, класс	Запас, м ³ /га	Полнота относительная	Класс бонитета
			диаметр, см	высота, м				
<i>Сосняк черничный свежий</i>								
1	7СЗБ	С	15,2	11,6	III	108,4	0,5	IV
		Б	12,8	11,2	–	29,1	0,2	–
2	8С2Б	С	14,8	11,5	III	90,5	0,7	IV
		Б	10,8	11,0	–	28,2	0,3	–
3	8С2Б	С	16,6	14,1	IV	110,9	0,5	IV
		Б	7,5	8,6	–	17,2	0,2	–
4	9С1Б	С	9,4	10,8	III	89,9	0,4	IV
		Б	7,0	8,0	–	17,1	0,3	–
5	10С	С	9,8	11,2	III	88,0	0,6	IV
<i>Ельник черничный свежий</i>								
6	7Е2С1Б	Е	17,0	16,0	III	116,8	0,5	III
		С	19,6	16,4	–	65,0	0,2	–
		Б	14,5	14,1	–	13,0	0,1	–
7	8Е1С1Б	Е	19,5	19,2	IV	235,0	0,80	IV
		С	20,1	18,3	–	20,0	0,07	–
8	10ЕедБ	Б	13,6	14,2	–	7,0	0,10	–
		Е	12,9	17,3	IV	220,0	0,88	V
9	10ЕедБ	Б	14,3	15,2	–	–	0,06	–
		Е	13,1	17,7	IV	230,0	0,92	IV
10	10Е	Б	14,0	15,1	–	–	0,05	–
		Е	12,4	13,8	IV	162,0	0,86	IV

Исходным материалом служили керны древесины, взятые с модельных деревьев возрастным буравом Пресслера на высоте 1,3 м.

Содержание минеральных элементов исследовали на образцах из центральной и периферийной частей ствола ели и сосны, которые имели набор годовичных колец, сформированных в начале жизни и к моменту проведения эксперимента. При этом исходили из предположения, что минеральные элементы вместе с током воды передвигаются по периферийным годовичным кольцам, количество которых может достигать 30...50 шт. [5].

В камеральных условиях образцы в течение суток сушили до абсолютно сухого состояния в сушильном шкафу при температуре 105 °С. Общее

количество проб – 50 шт. Содержание минеральных элементов и тяжелых металлов определяли на оборудовании ЦКП НО «Арктика» (Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова) при финансовой поддержке Минобороны России. Рентгенофлуоресцентный анализ проводили на волнодисперсном спектрометре LabCenterXRF-1800. Для этого предварительно высушенные и измельченные пробы прессовали в таблетки.

По полученным спектрам образцов методом фундаментальных параметров определяли элементы, присутствующие в пробе.

Условия проведения эксперимента: рентгеновская трубка с родиевым анодом; напряжение – 40 кВ; ток – 95 мА; экспозиция – 40 с и 20 с для фоновых точек; вакуум. Для определения Fe, Mn, Ca, K, Zn, Cu, Pb, Ni, Cr, Co использовали следующие кристаллы-анализаторы: LiF, S, P, Cl-Ge, Mg, Na, O-TAP, Al-PET. Для регистрации излучения применяли сцинтилляционный и пропорциональный детекторы.

Результаты исследования и их обсуждение

Рассматривая суммарное валовое содержание основных минеральных элементов (Fe, Mn, Ca, K, Zn, Cu, Pb, Ni, Cr, Co) у сосны и ели, можно констатировать, что их очень мало. У здоровых деревьев (без признаков ослабления) их больше содержится в древесине сосны, чем у ели: соответственно 0,44 и 0,40 % (рис. 1). Разница составляет 13 %. Различия достоверны при вероятности $P = 0,95$. По мере ослабления деревьев имеет место тренд снижения содержания этих элементов, что особенно заметно на сильно ослабленных деревьях сосны, менее резко это выражено у ели (соответственно 0,33 и 0,38 %).

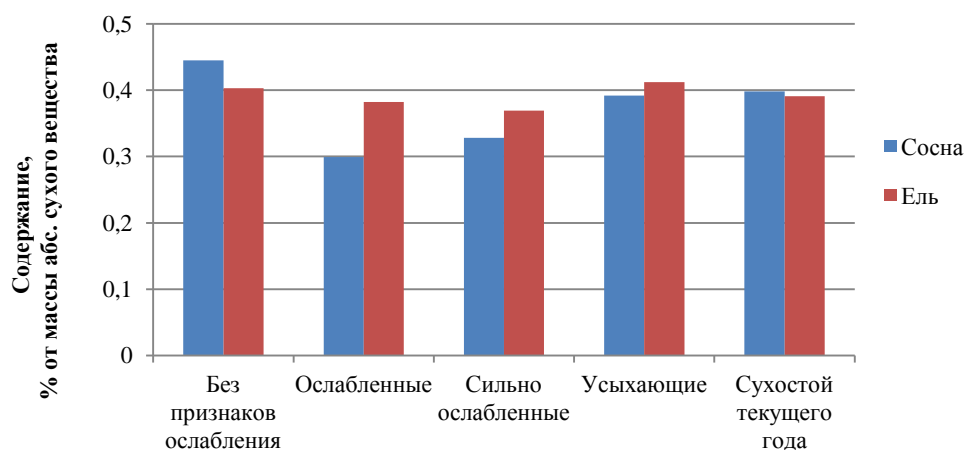


Рис. 1. Суммарное содержание минеральных элементов (Fe, Mn, Ca, K, Zn, Cu, Pb, Ni, Cr, Co) по категориям жизнеспособности деревьев

У усыхающих и сухостойных деревьев (сосны и ели) различий в содержании минеральных элементов нет, или точнее они недостоверны. В то же время содержание элементов повышается по сравнению с сильно ослабленными и ослабленными деревьями. Возможно это связано с тем, что поступление минеральных элементов остается на уровне здоровых деревьев, но из-за потери ассимиляционного аппарата их потребление и распределение отсутствуют. В сухих деревьях их столько же, как и в усыхающих.

На рис. 2 представлено распределение содержания основных химических элементов в центральной и периферийной частях ствола деревьев сосны и ели.

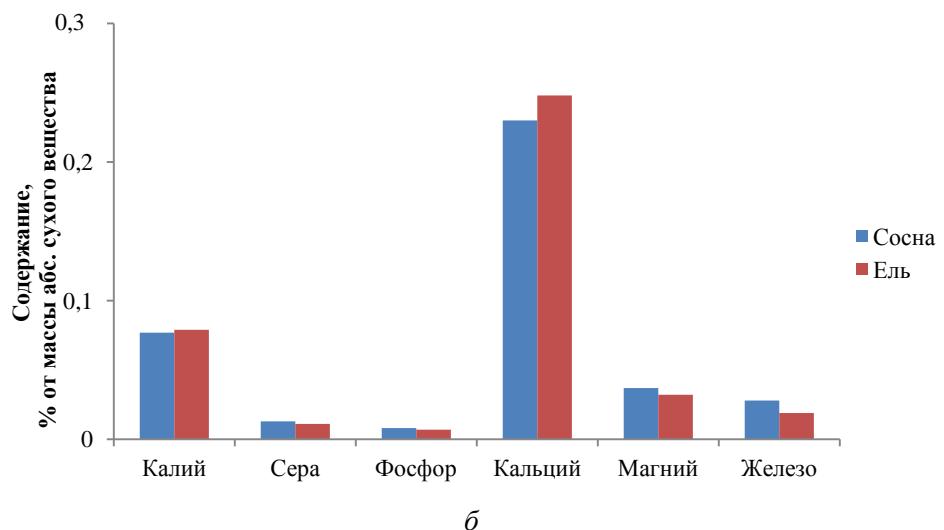
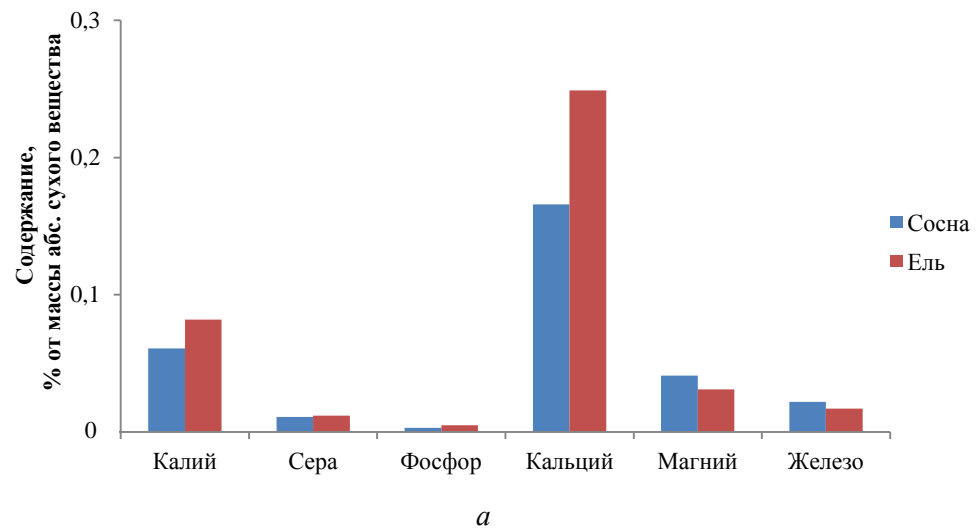


Рис. 2. Содержание минеральных элементов в центральной (а) и периферийной (б) частях древесины ствола

Статистические данные показывают, что все средние значения достоверны. Критерий Стьюдента находится в интервале от 7 до 124. Для обеих пород (как в центральной, так и в периферийной частях ствола) получен следующий ряд аккумуляции минеральных элементов: $Ca > K > Mg > Fe > S > P$. Обращает на себя внимание то, что в периферийной части ксилемы содержания минеральных элементов у сосны и у ели очень близки. Калия и кальция у ели чуть больше, чем у сосны; серы одинаково; магния и железа у сосны несколько больше. Калия и кальция в центральной части ксилемы заметно больше у ели, чем у сосны (примерно 30 и 60 % соответственно). В заболонной части древесины фосфора больше, чем в ядровой.

Содержание тяжелых металлов в древесине сосны и ели существенно различается (табл. 2): в древесине ели их на порядок меньше (от 0,0001 до 0,0090 %), чем в древесине сосны (от 0,0020 до 0,0400 %). Меньше всего содержится свинца.

Таблица 2

**Содержание (%) тяжелых металлов в центральной (числитель)
и периферийной (знаменатель) частях древесины ствола**

Порода	Медь	Свинец	Цинк
Сосна	0,0400/0,0400	0,0030/0,0020	0,0100/0,0040
Ель	0,0090/0,0060	0,0001/0,0002	0,0020/0,0030

Количество меди в древесине сосны в 4–7 раз превышает этот показатель для ели, а свинца – в 10–30 раз. Большая разница между породами по содержанию тяжелых металлов, вероятно, связана с биологическими особенностями зон поглощения корнями: у сосны на дренированных почвах корневая система распространяется вглубь, у ели она поверхностная.

Если проанализировать распределение свинца по частям ствола, то можно сделать вывод, что в древесине центральной части ствола сосны содержание свинца на 50 % выше, чем в периферийной, цинка – на 150 %, меди – одинаково. У ели в периферийной части ствола свинца на 100 % больше, чем у сосны, цинка – на 50 %. Ель аккумулирует больше меди в центральной части ствола, по сравнению с периферийной частью разница составляет 50 %.

Выводы

1. Валовое содержание минеральных элементов в древесине сосны составляет 0,44 %, ели – 0,40 %.
2. На распределение минеральных элементов биологические особенности древесных пород не влияют. Ряд аккумуляции минеральных элементов: $Ca > K > Mg > Fe > S > P$.
3. Древесина сосны аккумулирует тяжелые металлы в большем количестве, чем ель: меди в 4–7 раз больше, свинца – в 10–30 раз.
4. По мере ослабления деревьев имеет место тренд снижения содержания минеральных элементов как у сосны, так и у ели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Анучин Н.П.* Лесная таксация: учеб. для вузов. 6-е изд. М.: ВНИИЛМ, 2004. 552 с.
2. *Базилевич Н.И., Титлянова А.А.* Биотический круговорот на пяти континентах: азот и зольные элементы в природных наземных экосистемах. Новосибирск: СО РАН, 2008. 381 с.
3. *Бобкова К.С., Тужилкина В.В., Сенькина С.Н., Галенко Э.П., Загирова С.В.* Эколого-физиологические основы продуктивности сосновых лесов Европейского Северо-Востока. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 1993. 176 с.
4. *Васильева Н.П., Гитарский М.Л., Карabanь Р.Т., Назаров И.М.* Мониторинг повреждаемых загрязняющими веществами лесных экосистем России // Лесоведение. 2000. № 1. С. 23–31.
5. *Веретенников А.В.* Физиология растений с основами биохимии. Воронеж: ВГУ, 1987. 255 с.
6. *Виноградов А.П.* Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М.: АН СССР, 1957. 240 с.
7. *Казимиров Н.И., Волков А.Д., Зябченко С.С., Иванчиков А.А., Морозова Р.М.* Обмен веществ и энергии в сосновых лесах Европейского Севера. Л.: Наука, 1977. 304 с.
8. *Казимиров Н.И., Морозова Р.М.* Биологический круговорот веществ в ельниках Карелии. Л.: Наука, Ленингр. отд-ние, 1973. 175 с.
9. *Крамер П.Д., Козловский Т.Т.* Физиология древесных растений: пер. с англ. М.: Лесн. пром-сть, 1983. 464 с.
10. *Лир Х., Польштер Г., Фидлер Г.-И.* Физиология древесных растений. М.: Лесн. пром-сть, 1974. 424 с.
11. *Лукина Н.В., Сухарева Т.А., Исаева Л.Г.* Техногенные дигрессии и восстановительные сукцессии в северотаежных лесах. М.: Наука, 2005. 245 с.
12. ОСТ 56-69–83. Площади пробные лесоустroительные. Метод закладки: приказ Рослесхоза от 28.05.93 № 134. М., 1993.
13. Правила санитарной безопасности в лесах: утв. приказом М-ва природных ресурсов и экологии РФ от 24.12.2013 № 613. Доступ из справ.-правовой сист. «Консультант Плюс».

Поступила 03.05.17

UDC 630*813.3

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.64

Comparative Analysis of Mineral Content in Pine and Spruce Wood

N.V. Kilyusheva¹, Candidate for a Degree

P.A. Feklistov¹, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

N.V. Ezhova², Candidate of Agricultural Sciences, Deputy Forester

I.N. Bolotov¹, Doctor of Biological Sciences

B.Yu. Filippov¹, Doctor of Biological Sciences

¹Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: n.volkova@narfu.ru

²Primorye forest district of the Arkhangelsk forestry – branch of the Federal State Institution “Forestry and Nature Management Department” of the Ministry of Defense of Russia, pr. Sovetskikh Kosmonavtov, 181, bl. 1, off. 29, Arkhangelsk, 163000, Russian Federation; e-mail: aspirant.10@mail.ru

For citation: Kilyusheva N.V., Feklistov P.A., Ezhova N.V., Bolotov I.N., Filippov B.Yu. Comparative Analysis of Mineral Content in Pine and Spruce Wood. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 5, pp. 64–72. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.64

Mineral elements are very important for the development of all woody plants. The content of mineral constituents depends both on the species composition of the plantation and climatic and soil factors of particular habitats. The goal of research is a comparative analysis of the content of chemical elements in Scotch pine and spruce fir wood in myrtillus-type forests (in the Primorye forest district of the Arkhangelsk forestry), the search for regularities related to the category of state of trees and crosscut end. We determined the content of mineral elements and heavy metals by the X-ray fluorescence analysis carried out with the use of a wave-dispersed spectrometer. The parent material was wood core taken from the Pressler borer from the central and peripheral parts of the spruce stem, from the pine core and sapwood. For the analysis, we predried the samples in a drying box, grounded them and pilled. The total number of samples was 50. For both species, a series of accumulation of mineral elements was $Ca > K > Mg > Fe > S > P$. Pine and spruce wood most of all contained calcium and potassium, and next smaller – magnesium, iron, sulfur, copper, phosphorus. Copper and lead were 2 times more in the central part of the stem, calcium and potassium – in the peripheral part. Healthy pine trees accumulated more elements, other categories were accumulated by spruce; both species had a trend of decreasing their number with a decrease in the state of trees to the greatly weakened state. Among drying and dead standing trees, their amount of mineral elements slightly increased, but it was less than in healthy ones. With the weakening of the tree, the calcium content decreased and the content of heavy metals such as zinc and copper increased. The content of heavy metals in pine wood prevailed: the copper content was 4–7 times greater than in spruce wood, the lead content – 10–30 times.

Keywords: mineral element, wood, category of state, crosscut end, accumulation, heavy metal.

REFERENCES

1. Anuchin N.P. *Lesnaya taksatsiya* [Forest Inventory]. Moscow, VNIILM Publ., 2004. 552 p. (In Russ.)
2. Bazilevich N.I., Titlyanova A.A. *Bioticheskiy krugovorot na pyati kontinentakh: azot i zol'nye elementy v prirodnykh nazemnykh ekosistemakh* [Biotic Cycle in Five Continents: Nitrogen and Ash Constituents in the Natural Land Ecosystems]. Novosibirsk, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences Publ., 2008. 381 p. (In Russ.)
3. Bobkova K.S., Tuzhilkina V.V., Sen'kina S.N., Galenko E.P., Zagirova S.V. *Ekologo-fiziologicheskie osnovy produktivnosti sosnovykh lesov Evropeyskogo severovostoka* [Ecological and Physiological Bases of Pine Forests Productivity of the European North-East]. Syktyvkar, Komi Research Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences Publ., 1993. 176 p. (In Russ.)
4. Vasil'eva N.P., Gitarskiy M.L., Karaban' R.T., Nazarov I.M. Monitoring povrezhdaemykh zagryaznyayushchimi veshchestvami lesnykh ekosistem Rossii [Monitoring of the Russian Forest Ecosystems Damaged by Pollutants]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2000, no. 1, pp. 23–31.
5. Veretennikov A.V. *Fiziologiya rasteniy s osnovami biokhimii* [Plant Physiology with Basics of Biochemistry]. Voronezh, Voronezh State University Publ., 1987. 255 p. (In Russ.)

6. Vinogradov A.P. *Geokhimiya redkikh i rasseyannykh elementov v pochvakh* [Geochemistry of Rare Elements in Soils]. Moscow, Academy of Sciences of the SSSR Publ., 1957. 240 p. (In Russ.)

7. Kazimirov N.I., Volkov A.D., Zyabchenko S.S., Ivanchikov A.A., Morozova R.M. *Obmen veshchestv i energii v sosnovykh lesakh Evropeyskogo Severa* [Metabolism in the Pine Forests of the European North]. Leningrad, Nauka Publ., 1977. 304 p. (In Russ.)

8. Kazimirov N.I., Morozova R.M. *Biologicheskii krugovorot veshchestv v el'nikakh Karelii* [Biological Cycle of Matter in Spruce Forests of Karelia]. Leningrad, Nauka Publ., 1973. 175 p. (In Russ.)

9. Kramer P.J., Kozlowski T.T. *Physiology of Woody Plants*. New York, USA, Academic Press, 1979. 811 p.

10. Lyr H., Polster H., Fiedler H.J. *Gehölzphysiologie*. Vienna, Austria, Fischer Verlag, 1967. 444 p.

11. Lukina N.V., Sukhareva T.A., Isaeva L.G. *Tekhnogennye digressii i vosstanovitel'nye suksessii v severotaezhnykh lesakh* [Technogenic Degradation and Progressive Succession in the North Taiga Forests]. Moscow, Nauka Publ., 2005. 245 p. (In Russ.)

12. *OST 56-69-83. Ploshchadi probnye lesoustroitel'nye. Metod zakladki* [Industrial Standard 56-69-83. Forest Surveying Sample Plots. Coupe Demarcation Method]. Moscow, Gosleskhoz SSSR Publ., 1984. 60 p.

13. *Pravila sanitarnoy bezopasnosti v lesakh: utv. prikazom Ministerstva prirodnykh resursov i ekologii RF ot 24.12.2013. № 613* [The Rules of Sanitary Safety in Forests: Approved by the Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation (Order No. 613 of 24 December 2013)].

Received on May 03, 2017

УДК 630*232.311.3

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.73

ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ОТБОРА ПОЛУСИБОВ КЕДРА СИБИРСКОГО ПО ИНТЕНСИВНОСТИ РОСТА В РАННЕМ ВОЗРАСТЕ

А.М. Пастухова, канд. с.-х. наук, доц.

Сибирский государственный аэрокосмический университет им. акад. М.Ф. Решетнева, просп. им. газеты «Красноярский рабочий», д. 31, г. Красноярск, Россия, 660037; e-mail: past7@rambler.ru

Имеющиеся литературные данные указывают на разное представление о целесообразности отбора по скорости роста на ранних этапах онтогенеза хвойных видов и дальнейшего использования такого посадочного материала для лесокультурного производства. Впервые в условиях юга Средней Сибири нами проведены исследования роста второго поколения семенного потомства кедров сибирского разного географического происхождения, форм за 11-летний период наблюдений с момента прорастания семян и после высадки растений на постоянное место. Цели исследования: выявление изменчивости по показателям роста полусибов кедров сибирского с течением времени, определение перспективности отбора семей по скорости роста и их применения при создании культур. Объект исследований – полусибовое потомство кедров сибирского, произрастающее в испытательных культурах зеленой зоны г. Красноярска, относящейся по лесорастительному районированию к Среднесибирскому подтаежно-лесостепному району. Семьи были выращены из семян, собранных в 2003 г. в плантационных культурах, расположенных в тех же лесорастительных условиях. Год характеризовался слабой урожайностью кедровых семян, что отразилось на количестве семей и числе экземпляров в них. Полусибовы были высажены на постоянное место в 7-летнем возрасте в нескольких повторностях, расположенных рендомизировано по участку. Материалы обработаны с применением статистической программы SSPS. Отмечены закономерности изменения уровня варьирования по скорости роста полусибов и длине пучковой хвои. Установлено, что уровень изменчивости по высоте увеличивается с возрастом, тогда как по длине хвои остается стабильно высоким за весь период наблюдений. Выявлено, что у большей части семей кедров сибирского в возрасте до 6 лет характер роста может меняться. Доля семей, отличающихся стабильными темпами роста, увеличивается, начиная с 7-летнего возраста. Пересадка на постоянное место снизила долю таких семей на 26,7 %, но с тенденцией к уменьшению этого разрыва. Получена модель, описывающая зависимость высоты от диаметра стволика и возраста за весь период наблюдений ($R^2 = 0,888$). Отмечено наличие связи между длиной хвои, высотой и диаметром стволика ($r = 0,519$ и $r = 0,502$), а также возрастом ($r = 0,705$). Исследования показали, что на ранних этапах онтогенеза можно наблюдать семьи, стабильно сохраняющие свой рост независимо от внешних факторов. Быстро- и медленно растущие семенные потомства сохраняют характер роста на 2-й и 4-й год после пересадки. Отобраны семьи, отличавшиеся высокой скоростью

Для цитирования: Пастухова А.М. Перспективность отбора полусибов кедров сибирского по интенсивности роста в раннем возрасте // Лесн. журн. 2017. № 5. С. 73–81. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.73

роста и быстрее восстанавливавшиеся после пересадки (с учетом размеров хвои до и после пересадки).

Ключевые слова: динамика роста, изменчивость, полусиб, отбор, корреляция, кедр сибирский.

Введение

Для целей сортоводства и повышения продуктивности создаваемых лесных культур необходимо знать закономерности наследования хозяйственно ценных признаков [6] и выбирать наиболее эффективные методы селекции. Так, на основе результатов испытания потомств плюсовых деревьев определенных биотипов предлагается сочетать несколько видов отбора: семейный, внутрисемейный (индивидуальный), комбинированный, с учетом общей комбинационной способности [9, 11–15]. Но эффективность данного метода селекции на ранних этапах онтогенеза остается дискуссионным вопросом. Например, у сосны обыкновенной ряд авторов отмечают разнонаправленное изменение скорости роста в возрасте от 13 до 25 лет [7, 10]. Для ели установлено, что отбор быстрорастущих семей возможен в 8-летнем возрасте [9]. Тогда как у ели европейской семьи, отобранные в 4–6-летнем возрасте, в дальнейшем сильно изменяют свое ранговое положение, однако саженцы, растущие быстрее остальных, сохраняют свое преимущество в росте [1]. У сосны скрученной, напротив, наблюдается стабилизация варьирования по высоте после 6 лет, а после 10 лет выявлены небольшие сдвиги рангов [16]. Для полусибового потомства кедр сибирского установлены наличие возрастной стабильности признаков роста в 3-летнем возрасте [3, 5] и перспективность использования быстрорастущих форм этого возраста [2, 4, 8]. Однако перспективность применения отселектированного посадочного материала остается не до конца изученной, так как имеющиеся данные характеризуют лишь определенные возрастные пределы.

Проводимые нами исследования впервые охватывают 11-летний период наблюдений за ростом и развитием второго поколения семенного потомства кедр сибирского, полученного от свободного опыления растений разных географических происхождений и форм, представленных в одних плантационных культурах на территории пригородной зоны г. Красноярска.

Цель исследования – выявление изменчивости по показателям роста полусибов кедр сибирского с течением времени, определение перспективности отбора семей по скорости роста и их применения при создании культур.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования являлось семенное потомство кедр сибирского, полученного от свободного опыления климатипов, форм, произрастающих на плантации зеленой зоны г. Красноярска, относящейся по лесорастительному районированию к Среднесибирскому подтаежно-лесостепному району. Семена были собраны в 2003 г., который характеризовался низкой урожайностью кедровых семян. Посев был проведен осенью этого же года. В 7-летнем возрасте полусибовы были пересажены в испытательные культуры, расположенные

в схожих с материнскими деревьями лесорастительных условиях. Посадку производили в борозды по 3 растения каждой семьи в отрезок с шагом посадки 1 м, расстояния между центрами отрезков и между рядами – по 3 м.

Представленность полусибов в семьях варьировала от единичных экземпляров до 20 шт. и более. Число растений после пересадки в семьях не превышало 7 шт.

Морфометрические показатели измеряли регулярно у всех растений в семьях в течение всего периода исследований.

Экспериментальные данные были статистически обработаны с применением программы SSPS.

Результаты исследования и их обсуждение

Установлено проявление хронографической изменчивости высоты, диаметра стволика семенного потомства отселектированных на плантации деревьев. Так, в 1-летнем возрасте был отмечен средний уровень изменчивости, в 2-летнем – слабый. На снижение уровня изменчивости к 3-летнему возрасту указывали и А.М. Данченко, С.А. Кабанов [5]. Однако в возрасте от 4 до 11 лет уровень вариабельности по высоте возрастал, что, возможно, связано с усилением влияния внешних факторов и конкуренции полусибов в посевах. Данная тенденция сохраняется и после пересадки (табл. 1).

Таблица 1

Показатели роста и длина хвои полусибов кедра сибирского

Показатель	Значение показателя для биологического возраста, лет						
	1	2	4	6	7	9	11
	В посевном отделении				На постоянном месте		
Высота стволика, см:							
\bar{X}	4,9	7,9	10,6	20,4	28,7	30,8	41,6
$\pm m$	0,12	0,13	0,53	0,99	1,44	1,77	2,82
$\pm \sigma$	0,67	0,73	2,92	5,43	7,91	9,51	13,5
V, %	13,6	9,3	27,6	26,7	27,5	30,8	32,5
X_{\max}	6,2	9,1	18,5	30,5	43,2	45,0	69,3
X_{\min}	2,9	6,1	6,0	11,3	12,5	15,2	16,0
Диаметр стволика, см:							
\bar{X}	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,2
$\pm m$	0,00	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,11
$\pm \sigma$	0,02	0,05	0,11	0,17	0,25	0,29	0,47
V, %	8,3	13,8	20,3	29,6	33,4	31,0	37,5
X_{\max}	0,3	0,5	0,7	1,0	1,1	1,7	2,4
X_{\min}	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	0,6
Длина пучковой хвои, см:							
\bar{X}	–	3,3	6,1	7,8	6,5	6,2	7,1
$\pm m$	–	0,18	0,25	0,25	0,25	0,45	0,43
$\pm \sigma$	–	0,95	1,32	1,37	1,34	2,34	1,94
V, %	–	28,8	21,7	17,6	20,7	37,7	27,3
X_{\max}	–	4,8	8,8	10,3	9,7	12,1	10,9
X_{\min}	–	0,9	3,8	5,1	3,4	2,5	3,4

Полученное поле распределения средних высот семей было разбито на 3 разряда: 1 – быстрорастущие; 2 – средние по скорости роста (среднерастущие); 3 – медленно растущие (рис. 1).

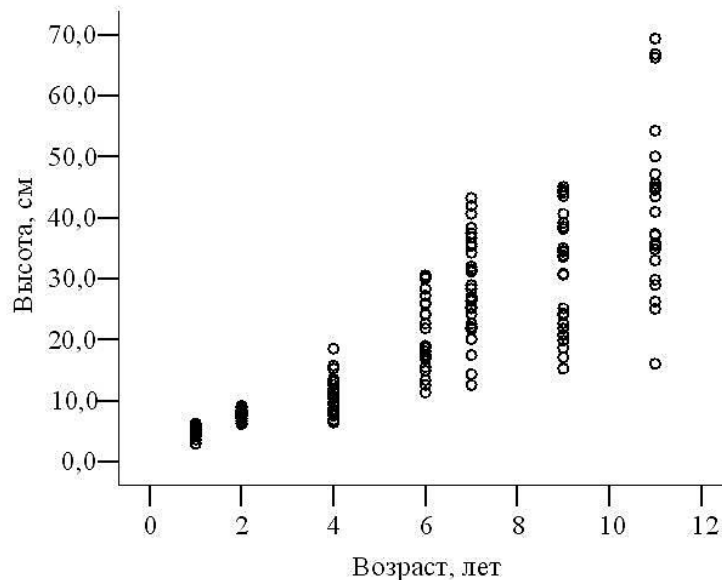


Рис. 1. Динамика роста семей кедров сибирского

Установлено, что у большинства семей до 7-летнего возраста могут изменяться темпы роста, что объясняется взаимодействием генотип–среда и взаимным влиянием сеянцев друг на друга. Для селекционной работы представляют ценность семьи, отличающиеся стабильными темпами роста. Необходимо отметить, что доля таких полусибов возрастает с 7-летнего возраста. После пересадки быстрорастущие семьи сохранили свое преимущество по высоте, о чем свидетельствует ее средневзвешенное значение, рассчитанное через представленность того или иного разряда высот за изучаемый период. Замедленный рост сохраняют семьи, отстававшие в росте и до пересадки, что согласуется с результатами С.А. Данченко, С.А. Кабанова [5], Ю.Н. Ильичева [8]. Исключением является только семенное потомство Ди-97-54, у которого наблюдается тенденция к переходу из медленно растущих в средние по скорости роста, начиная с 7-летнего возраста. Не повлияла на этот переход и пересадка (табл. 2).

Для построения хода роста по высоте и диаметру стволика использованы значения высот всех экземпляров семенного потомства за 11-летний период наблюдений. Установлено, что изменения высоты (H) и диаметра стволика (D) соответственно на 69,4 и 49,7 % связаны с возрастом (A) и описываются уравнениями прямой линии:

$$H = 1,194 + 3,259A \quad (R^2 = 0,694);$$

$$D = 0,189 + 0,052A \quad (R^2 = 0,497).$$

Таблица 2

Возрастные изменения семей кедров сибирского по разрядам (%)

Возраст, лет	Семьи, изменившие разряд						Всего семей	
	с 1-го на 2-й	с 1-го на 3-й	со 2-го на 1-й	со 2-го на 3-й	с 3-го на 1-й	с 3-го на 2-й	сменивших разряд	стабильных
2	23,3	0	20,0	13,3	0	3,3	60,0	40,0
4	10,0	20,0	3,3	30,0	0	10,0	73,3	26,7
6	0	0	13,3	13,3	6,7	26,7	60,0	40,0
7	3,3	0	3,3	0	0	10,0	16,7	83,3
9	6,7	0	6,7	23,3	3,3	3,3	43,3	56,7
11	17,4	0	0	8,7	0	13,0	39,1	60,9

Получена модель, описывающая зависимость высоты от диаметра стволика и возраста:

$$H = -4,917 + 1,707A + 30,400D \quad (R^2 = 0,808).$$

Стабильно высокий уровень изменчивости наблюдается по длине пучковой хвои, начиная с момента ее формирования в 2-летнем возрасте и до времени окончания исследования. После пересадки сеянцев коэффициент изменчивости этого показателя возрастает, что, возможно, связано с проявлением различной реакции растений на новые условия местопроизрастания (см. табл. 1). Был проведен анализ влияния «стресса» от пересадки на формирование хвои у семей кедров сибирского. Установлено, что 37,0 % семей уже на 2-й год после пересадки имели хвою, на 15,0...88,4 % превышающую средние значения, наблюдавшиеся до высадки на постоянное место (рис. 2).

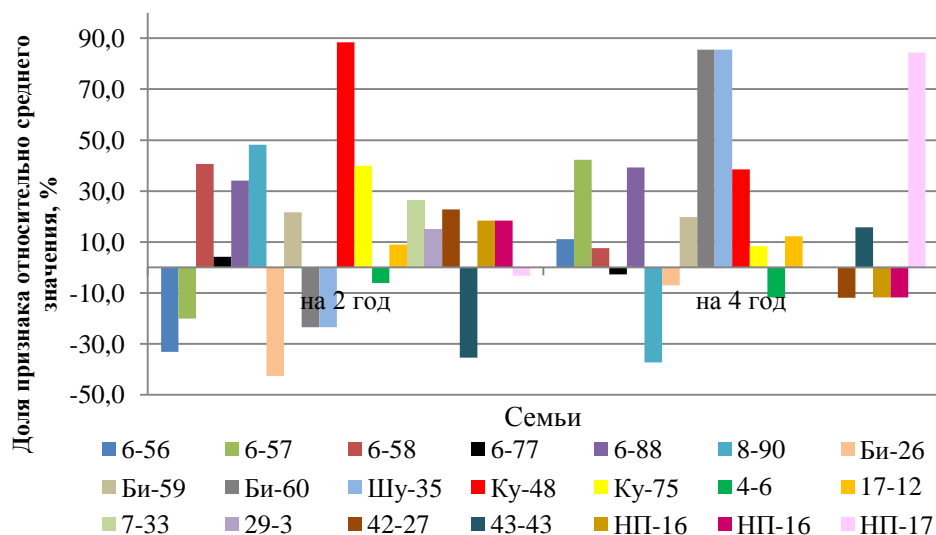


Рис. 2. Фрагмент распределения после пересадки семей кедров сибирского по длине хвои

Сопоставление выделенных семей с разрядом их роста после пересадки показало, что среди них только три семьи (Би-59, Шу-35, Ку-48) принадлежат к быстрорастущим, встречаются также средне- и медленнорастущие. Связь длины хвои с высотой и диаметром стволика значительная (соответственно $r = 0,519$ и $r = 0,502$), с возрастом – высокая ($r = 0,705$).

Заключение

Таким образом, на начальных этапах онтогенеза целесообразно проводить отбор семей по скорости роста и длине хвои, используя данные нескольких лет наблюдений, что позволит избежать ошибок при выделении перспективных семей. После пересадки медленно- и быстрорастущие семьи сохраняют тенденции роста, тогда как среднерастущие могут переходить из одной категории в другую, что, возможно, связано с разной восстановительной способностью после пересадки. Для оценки адаптационной способности растений к новым условиям местопроизрастания перспективно использовать в качестве показателя длину хвои. Так, выделенные по скорости роста семьи (Би-59, Шу-35, Ку-48) сохранили свое преимущество по высоте, а длина их хвои восстановилась уже на 2-й год после пересадки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаренко А.С., Жигунов А.В. Генетическая обусловленность скорости роста ели европейской в культуре // Лесоведение. 2007. № 1. С. 42–48.
2. Братилова Н.П., Орешенко С.А. Рост сеянцев сосны кедровой сибирской различного географического происхождения // Вестн. КрасГАУ. 2010. № 1. С. 2–65.
3. Брынцев В.А., Храмова М.И. Изменчивость семенного потомства сосны кедровой сибирской при интродукции // Лесн. журн. 2013. № 6. С. 38–47. (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Воробьев В.Н., Хамитов Р.С. Влияние состояния филлотаксиса на показатели роста сеянцев кедра сибирского // Вестн. ИрГСХА. 2015. № 69. С. 46–52.
5. Данченко А.М., Кабанова С.А. Оценка роста полусибирского потомства сосны кедровой сибирской в открытом грунте и теплице // Хвойные бореальной зоны. 2007. Т. XXIV, № 2-3. С. 174–178.
6. Егоров М.Н. Испытание потомств как одна из ключевых проблем в генетике и селекции древесных пород (на примере *Pinus sylvestris* L.) // Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 2002. № 5. С. 37–44.
7. Ефимов Ю.П. Итоги многолетнего испытания материнских деревьев сосны обыкновенной по семенному потомству // Генетическая оценка исходного материала в лесной селекции: сб. науч. тр. Воронеж, 2000. С. 33–43.
8. Ильичев Ю.Н. Перспектива качественного отбора плюсовых деревьев кедра сибирского в горных условиях // Хвойные бореальной зоны. 2010. Т. XXVII, № 1-2. С. 83–86.
9. Рогозин М.В. Отбор лучших происхождений и семей ели сибирской // Лесн. хоз-во. 2011. № 6. С. 36–38.
10. Шеверножук Р.Г., Королева Н.Б., Бытченко Н.В. Рост полусибирских потомств сосны обыкновенной в испытательных культурах // Генетическая оценка исходного материала в лесной селекции: сб. науч. тр. Воронеж, 2000. С. 50–58.

11. Jansson G., Li B. Genetic Gains of Full-Sib Families from Disconnected Diallels in Loblolly Pine // *Silvae genetica*. 2004. No. 53. Pp. 60–64.

12. Johnson G.R. Common Families Across Test Series – How Many Do We Need? // *Forest Genetic*. 2004. No. 11(2). Pp. 103–112.

13. Parker W.C., Noland T.L., Morneau A.E. The Effects of Seed Mass on Early Seedling Growth of Five Eastern White Pine *Pinus strobus* L. Families Under Contrasting Light Environments // *Can. J. Bot.* 2004. No. 82. Pp. 1645–1655.

14. Shaowei H., Weihua Zh., Bingquan Ch. Estimation on Genetic Gains of Combined Selection for Growth Traits of Half-Sib Progeny of *Pinus taeda* // *Scientia Silvae Sinicae*. 2006. Vol. 42, no. 4. Pp. 33–37.

15. Xiao-Xia S., Yi-chi L., Xiao-xing Z. Combined Selection for Rapid Growth and Disease Resistance of the Introduced Families *Pinus taeda* // *Hebei nongue daxue xuebao*. 2004. No. 2. Pp. 71–80.

16. Xiaoyang Ch., Hawkins B., Xie Ch.-Yi, Ying Ch.C. Age Trends in Genetic Parameters and Early Selection of Lodgepole Pine Provenances with Particular Reference to the Lambeth Model // *Forest Genetics*. 2003. Vol. 10, no. 3. Pp. 249–258.

Поступила 12.03.17

UDC 630*232.311.3

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.73

Prospects of Selection of Siberian Cedar Half-Sibs According to Their Growth Rate at an Early Age

A.M. Pastukhova, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

Siberian State Aerospace University named after academician M.F. Reshetnev, pr. Imeni Gazety “Krasnoyarskiy rabochiy”, 31, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation; e-mail: past7@rambler.ru

The available literary evidence points to different understanding of the selection expediency according to the growth rate at the early ontogenesis stages of coniferous species and further using of such planting material for silvicultural production. For the first time in the conditions of the south of Central Siberia we carried out growth investigations of the 2nd generation of Siberian cedar seed offspring of different geographic origin, of forms over the 11-year observation period from the time of seeds germination and after bedding plants. The goal of research was the detection of variability within the growth indicators of Siberian cedar half-sibs in the course of time; determination of prospects of selection of families for the growth rate and their application in the development of crops. The target of research was a half-sib offspring of Siberian cedar in test cultures of the Krasnoyarsk suburban zone belonging to the Central Siberian sub-boreal forest steppe area according to the forest site zoning. The families were raised from seed harvested in 2003 in plantation crops, located in the same forest site conditions. That year was characterized by low yield of cedar seeds, which affected the number of families and the number of specimens in them. The half-sibs were planted at the age of 7 in several replications located randomized on the site. The materials

For citation: Pastukhova A.M. Prospects of Selection of Siberian Cedar Half-Sibs According to Their Growth Rate at an Early Age. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 5, pp. 73–81. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.73

were processing using the SPSS statistical program. The patterns of change in the variation level with respect to the rate of half-sib growth and the length of bundle needles were noted. The height variability level increased with age, whereas the variability level of the needle length remained stably high for the entire observation period. In most Siberian cedar families under the age of 6, the growth pattern could change. The proportion of families with stable growth rates increased from 7 years of age. Transplantation to a permanent place reduced the proportion of such families by 26.7 %, but with a tendency to reduce this gap. The model describing the dependence of height on a stipitate diameter and the age over the entire observation period was obtained ($R^2 = 0.888$). The link between the needle length, height and diameter of a stipitate was noted ($r = 0.519$ and $r = 0.502$), and with the age ($r = 0.705$). In the early stages of ontogenesis, we could observe families stably retaining their growth regardless of external factors. After transplantation, fast- and slow-growing seed offspring retained their growth pattern for the 2nd and 4th year after transplantation. We selected families that had a high growth rate and quick recovery after transplantation (taking into account the needle size before and after transplantation).

Keywords: growth rates, variability, half-sib, selection, correlation, Siberian cedar.

REFERENCES

1. Bondarenko A.S., Zhigunov A.V. Geneticheskaya obuslovlennost' skorosti rosta eli evropeyskoy v kul'ture [Genetic Conditionality of the European Spruce Growth Rate in Culture]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2007, no. 1, pp. 42–48.
2. Bratilova N.P., Oreshenko S.A. Rost seyantsev sosny kedrovoy sibirskoy razlichnogo geograficheskogo proiskhozhdeniya [Seedlings Growth of Siberian Cedar Pine of Various Geographical Origin]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [the Bulletin of KrasGAU], 2010, no. 1, pp. 62–65.
3. Bryntsev V.A., Khramova M.I. Izmenchivost' semennogo potomstva sosny kedrovoy sibirskoy pri introduktsii [Variability of Seed Progeny of Siberian Pine at Introduction]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2013, no. 6, pp. 38–47.
4. Vorob'ev V.N., Khamitov R.S. Vliyanie sostoyaniya fillotaksisa na pokazateli rosta seyantsev kedra sibirskogo [Influence of Phyllotaxis Condition on Growth Indicators of Siberian Cedar Seedlings]. *Vestnik Irkutskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Vestnik IrGSHA], 2015, no. 69, pp. 46–52.
5. Danchenko A.M., Kabanov S.A. Otsenka rosta polusibsovogo potomstva sosny kedrovoy sibirskoy v otkrytom grunte i teplitse [Growth Estimation of Half-Sib Offspring of Siberian Cedar Pine on the Field and Greenhouse]. *Khvoynye boreal'noy zony* [Conifers of the Boreal Area], 2007, vol. XXIV, no. 2-3, pp. 174–178.
6. Egorov M.N. Ispytanie potomstva kak odna iz klyuchevykh problem v genetike i selektsii drevesnykh porod (na primere *Pinus sylvestris*) [Test of Posterity as One of the Key Problems in Genetics and Selection of Tree Species (on the Example of *Pinus sylvestris*)]. *Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 2002, no. 5, pp. 37–45.
7. Efimov Yu.P. Itogi mnogoletnego ispytaniya materinskikh derev'ev sosny obyknovennoy po semennomu potomstvu [Results of Long-Term Seed Progeny Testing of Maternal Trees of Scots Pine]. *Geneticheskaya otsenka iskhodnogo materiala v lesnoy selektsii: sb. nauch. tr.* [Genetic Evaluation of the Initial Material in Forest Breeding: Proc.]. Voronezh, 2000, pp. 33–43. (In Russ.)

8. Il'ichev Yu.N. Perspektivy kachestvennogo otbora plyusovykh derev'ev kedra sibirskogo v gornykh usloviyakh [The Prospects of Selection of *Pinus sibirica* Plus Trees]. *Khvoynye boreal'noy zony* [Conifers of the Boreal Area], 2010, vol. XXVII, no. 1-2, pp. 83–86.

9. Rogozin M.V. Otkor luchshikh proiskhozhdeniy i semey eli sibirskoy [Selection of the Best Origins and Families of Siberian Spruce]. *Lesnoe khozyaystvo*, 2011, no. 6, pp. 36–38.

10. Shevernozhuk R.G., Koroleva N.B., Bytchenko N.V. Rost polusibovykh potomstv sosny obyknovennoy v ispytatel'nykh kul'turakh [Growth of Half-Sib Progenies of Scots Pine in Test Cultures]. *Geneticheskaya otsenka iskhodnogo materiala v lesnoy selektsii: sb. nauch. tr.* [Genetic Evaluation of the Initial Material in Forest Breeding: Proc.]. Voronezh, 2000, pp. 50–59. (In Russ.)

11. Jansson G., Li B. Genetic Gains of Full-Sib Families from Disconnected Diallels in Loblolly Pine. *Silvae genetica*, 2004, no. 53, pp. 60–64.

12. Johnson G.R. Common Families Across Test Series – How Many Do We Need? *Forest Genetics*, 2004, no. 11(2), pp. 103–112

13. Parker W.C., Noland T.L., Morneau A.E. The Effects of Seed Mass on Early Seedling Growth of Five Eastern White Pine *Pinus strobus* L. Families Under Contrasting Light Environments. *Can. J. Bot.*, 2004, no. 82, pp. 1645–1655.

14. Shaowei H., Weihua Zh., Bingquan Ch. Estimation on Genetic Gains of Combined Selection for Growth Traits of Half-Sib Progeny of *Pinus taeda*. *Scientia Silvae Sinicae*, 2006, vol. 42, no. 4, pp. 33–37.

15. Xiao-Xia S., Yi-chi L., Xiao-xing Z. Combined Selection for Rapid Growth and Disease Resistance of the Introduced Families *Pinus taeda*. *Hebei nongue daxue xuebao*, 2004, no. 2, pp. 71–80.

16. Xiaoyang Ch., Hawkins B., Xie Ch.-Yi, Ying Ch.C. Age Trends in Genetic Parameters and Early Selection of Lodgepole Pine Provenances with Particular Reference to the Lambeth Model. *Forest Genetics*, 2003, vol. 10, no. 3, pp. 249–258.

Received on March 12, 2017

УДК 674.03

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.82

ОЦЕНКА ВИДОВОГО СОСТАВА ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В ЛАНДШАФТАХ ПАВЛОВСКОГО ПАРКА САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

*В.Ф. Ковязин*¹, *д-р биол. наук, проф.*

*К.Х. Кан*², *магистр*

*Т.К. Фам*², *магистр*

¹Санкт-Петербургский горный университет, Васильевский остров, 21-я линия, д. 2, Санкт-Петербург, Россия, 199026; e-mail: vfkedr@mail.ru

²Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия, 194021; e-mail: kimhung1985@gmail.com, phamquynhln@gmail.com

Павловский парк Санкт-Петербурга разделен на 7 природных ландшафтов, которые различаются видовым составом насаждений и почвенно-грунтовыми условиями их произрастания. С использованием определителей растений выявлены виды деревьев и кустарников в насаждениях всех ландшафтов парка, проведена оценка видового богатства и разнообразия состава насаждений с помощью различных индексов. Установлено, что состав сообществ в ландшафтах парка относительно сходен, во всех доминируют лесные породы: ель европейская, береза пушистая, сосна обыкновенная, береза повислая и осина. Эти породы являлись преобладающими в период формирования парка из хвойного лесного массива. В настоящее время отмечается смена хвойных пород на широколиственные благодаря антропогенному воздействию на биоценоз. Часть хвойных и мелколиственных пород была вырублена на дрова в период Великой Отечественной войны. Для формирования полуоткрытых и открытых пейзажей проводились ландшафтные рубки. На месте вырубленных деревьев высаживались дуб черешчатый и липа мелколистная. Количество растений в каждом ландшафте различно, зависит от площади территории и густоты древостоя. Насаждения отличаются также числом видов, возрастной структурой и санитарным состоянием. Архитектурно-ландшафтные композиции растений представлены в виде древесных массивов, куртин, групп и солитеров.

Ключевые слова: Павловский парк, древесные растения, ландшафтные районы, видовое разнообразие, коэффициенты сходства и различия.

Введение

Объект исследования – Павловский парк – расположен в Пушкинском административном районе Санкт-Петербурга, по берегам р. Славянки, левого притока р. Невы. В конце XVII в. по ее берегам росли густые ельники, богатые дичью и зверем. Парк начал строиться в 1777 г., когда эта местность была

Для цитирования: Ковязин В.Ф., Кан К.Х., Фам Т.К. Оценка видового состава древесных растений в ландшафтах Павловского парка Санкт-Петербурга // Лесн. журн. 2017. № 5. С. 82–91. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.82

подарена Екатериной II сыну Павлу и его супруге Марии Федоровне в связи с рождением наследника – будущего императора Александра I. Планировка и строительство архитектурно-паркового ансамбля проходили под руководством шотландского архитектора Ч. Камерона. Насаждения Павловского парка формировались на протяжении 50 лет, в дальнейшем они подвергались существенным изменениям.

Цель наших исследований, проведенных впервые за 240 лет существования парка, – изучение сходства и различия видового состава насаждений всех его ландшафтов в результате длительного хозяйственного воздействия.

Определяющими факторами для выполнения растительностью парка средообразующей функции и рекреационной роли являются видовой состав, возрастная структура и санитарное состояние древостоев.

Объект и методы исследования

Павловский парк (площадь – более 543 га) расположен в 27 км от центра Санкт-Петербурга, в 5...6 км от г. Пушкина на склоне Балтийско-Ладожского уступа, на берегу р. Славянки. Территория парка разделена на 7 композиционно связанных друг с другом ландшафтных районов (табл. 1): Белая Береза, Большая Звезда, Долина р. Славянки, Парадное Поле, Центральный, Новая Сильвия, Старая Сильвия.

Таблица 1

Ландшафтные районы Павловского парка

Ландшафтный район	Общая площадь	
	га	%
Белая Береза	264,99	48,8
Большая Звезда	142,40	26,2
Долина р. Славянки	78,58	14,5
Парадное Поле	30,45	5,6
Центральный	11,94	2,2
Новая Сильвия	10,65	1,9
Старая Сильвия	4,22	0,8
<i>Всего</i>	543,43	100

Ландшафтные районы различаются площадью и видовым составом древесных растений, но в целом облик ансамбля Павловского парка необычайно строен, целостен и не характерен для других пригородных парков.

В ландшафтных районах парка в течение 2015–2016 гг. нами проведена инвентаризация насаждений путем сплошного перечета растений, имеющих на высоте 1,3 м диаметр ствола не менее 4 см. Для определения видового состава древесных растений использовали определители [6, 9], за основу брали форму листовой пластинки, окраску и строение цветков, для оценки видового богатства и разнообразия насаждений – безразмерные индексы (Шеннона–Уивера, Симпсона, Жаккара и Сьёренсена–Чекановского [1, 5]), основанные на коли-

чественных данных учета. Результаты учета деревьев служили основой для расчета этих индексов по приведенным ниже формулам:

индекс видового богатства Шеннона–Уивера определяет степень насыщенности биоценоза древесными видами [8, 10]:

$$H = -\sum \frac{n_i}{N} \log_2 \left(\frac{n_i}{N} \right), \quad (1)$$

где n_i – количество особей данного вида;

N – общее количество видов в биоценозе;

индекс видового разнообразия Симпсона рассчитывается по формуле [7, 11]:

$$D = 1 - \sum \left[\frac{n_i}{N} \right]^2; \quad (2)$$

индекс видового сходства Жаккара – показатель, равный отношению числа видов, найденных на двух исследуемых участках биоценоза, к сумме видов, найденных на участке А, но не найденных на участке В, и найденных на участке В, но отсутствующих на участке А [3]:

$$A_j = c / (a + b - c), \quad (3)$$

где c – количество общих видов в двух сообществах;

a – количество видов в сообществе А;

b – количество видов в сообществе В;

индекс сходства Сьёренсена–Чекановского [3]:

$$K_s = 2a / (2a + b + c), \quad (4)$$

где a – число общих признаков двух сравниваемых совокупностей;

b – число признаков, принадлежащих только первой совокупности;

c – число признаков, принадлежащих только второй совокупности.

Санитарное состояние деревьев определяли по внешним признакам растений согласно шкале, разработанной Управлением садово-паркового хозяйства Санкт-Петербурга [4] (табл. 2).

Таблица 2

Оценка санитарного состояния деревьев по их внешним признакам

Санитарное состояние	Внешние признаки
Хорошее	Деревья здоровые, нормально развитые, признаков болезней и вредителей нет; повреждений ствола и скелетных ветвей, ран и дупел нет.
Удовлетворительное	Деревья здоровые, но с замедленным ростом, неравномерно развитой кроной, недостаточно облиственные, с наличием незначительных повреждений и небольших дупел.
Неудовлетворительное	Деревья сильно ослабленные, ствол искривлен, крона слабо развита, наличие усыхающих или усохших ветвей, прирост однолетних побегов незначительный, суховершинность, значительные механические повреждения ствола, имеются дупла.

Результаты исследования и их обсуждение

На 45 % территории Павловского парка произрастают лесные массивы, на 55 % – древесно-кустарниковая растительность, которая носит декоративный характер. Всего древесной растительностью покрыто 86 % парка, на остальной площади деревья отсутствуют. В Павловском парке насчитывается 361 370 деревьев, представленных 54 видами. Распределение суммарного числа деревьев по ландшафтам парка приведено в табл. 3.

Таблица 3

**Суммарное количество и густота древесных растений
в ландшафтах Павловского парка**

Ландшафтный район	Количество деревьев		Густота, шт./га
	шт.	%	
Белая Береза	213 650	59,12	806
Большая Звезда	89 398	24,74	628
Долина р. Славянки	28 628	7,92	364
Парадное Поле	9 253	2,56	304
Центральный	4 848	1,34	417
Новая Сильвия	11 840	3,28	1112
Старая Сильвия	3 753	1,04	889
<i>Всего</i>	361 370	100	665

Среди ландшафтов парка район Белая Береза имеет наибольшее число древесных растений (213 650 шт.), Старая Сильвия – наименьшее (3 753 шт.). Такая разница в количестве растений объясняется разными площадями ландшафтных районов и густотой древостоев.

Как видно из табл. 4, где приведено распределение древесных пород по видовому составу и ландшафтам, в парке доминируют следующие лесные породы: ель европейская (25,53 %), береза пушистая (21,58 %), сосна обыкновенная (11,86 %), береза повислая (9,18 %), осина (8,00 %). Среди хвойных преобладающими породами являются ель европейская (92 275 шт.) и сосна обыкновенная (42 864 шт.), среди лиственных – березы пушистая (77 994 шт.) и повислая (33 005 шт.), осина (30 256 шт.). Соотношение хвойных и лиственных пород в парке: 136 078 шт. (38,00 %) – хвойные, 225 292 шт. (62,00 %) – лиственные.

Эти древесные растения являются коренными лесообразователями таежной зоны, несмотря на то, что значительная их часть была вырублена на дрова в период Великой Отечественной войны фашистскими захватчиками. Доминирование пород объясняется их естественным возобновлением.

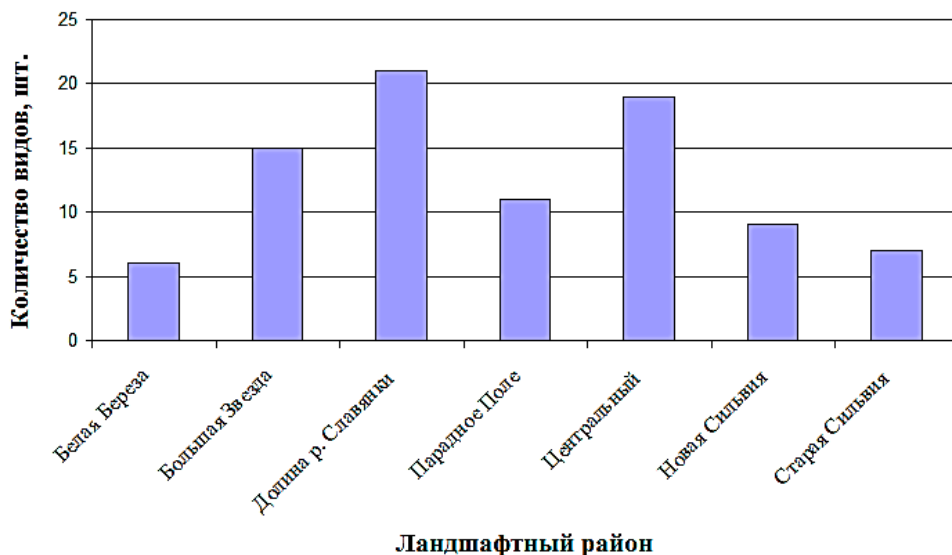
При формировании ландшафтов парка в насаждениях проводились выборочные ландшафтные рубки, а в образовавшиеся «окна» высаживались древесные растения из других регионов страны, поэтому видовой состав насаждений за 240-летний период развития Павловского парка существенно изменился. Современные насаждения формировались за счет естественного возобновления древесных пород и искусственных посадок деревьев [2].

Таблица 4

Распределение древесных видов растений по ландшафтам Павловского парка

Русское название	Латинское название	Количество растений по районам парка, шт.										Итого	
		Белая Береза	Большая Звезда	Долина р. Славянки	Парадное Поле	Центральный	Новая Сильвия	Старая Сильвия	шт.	%			
Ель европейская	<i>Picea abies</i> (L.) H.Karst.	53 949	23 135	6 423	1 162	725	5 491	1 390	92 275	25,53			
Сосна обыкновенная	<i>Pinus sylvestris</i> L.	24 518	14 512	1 722	243	622	423	812	42 852	11,86			
Береза повислая	<i>Betula pendula</i> Roth.	25 806	392	4 025	1 219	804	748	185	33 179	9,18			
Береза пушистая	<i>Betula pubescens</i> Ehrh.	39 736	36 191	2 028	36	–	1	2	77 994	21,58			
Дуб черешчатый	<i>Quercus robur</i> L.	2 377	3 257	688	403	272	776	163	7 936	2,20			
Ива козья	<i>Salix caprea</i> L.	5 994	1 147	1 025	396	24	648	132	9 356	2,59			
Липа мелколистная	<i>Tilia cordata</i> Mill.	1 597	80	2 053	1 808	1 707	1 189	565	8 999	2,49			
Ольха серая	<i>Alnus incana</i> (L.) Moench	10 409	4 213	1 554	1 006	18	488	18	17 706	4,90			
Осина	<i>Populus tremula</i> L.	28 870	–	–	31	–	19	1	28 921	8,00			
Рябина обыкновенная	<i>Sorbus aucuparia</i> L.	17 186	3 704	2 013	356	44	1 585	213	25 101	6,95			
Черемуха обыкновенная	<i>Prunus padus</i> L.	631	241	2 038	1 259	65	265	97	4 596	1,27			
Прочие породы	–	2 577	2 526	5 059	1 334	567	207	175	12 455	3,45			
	<i>Всего</i>	213 650	89 398	28 628	9 253	4848	11 840	3 753	361 370	100,00			

Количество видов древесных растений, представленных в ландшафтах парка, существенно различается (см. рисунок).



Количество видов древесных пород в ландшафтах Павловского парка

В процессе исследований проведена оценка санитарного состояния насаждений парка путем группировки растений по возрастным группам (табл. 5). Деревья, имеющие хорошее состояние, составляют 71,7 % (258 997 шт.), удовлетворительное – 27,0 % (97 527 шт.), неудовлетворительное – 1,3 % (4 846 шт., из которых 4 508 шт. – молодые особи хвойных пород возраста менее 20 лет). На состояние древостоев влияют близость расположения жилых районов Павловского муниципального образования и круглогодичная активность населения в процессе отдыха на доступных и привлекательных участках парка. Ослаблению деревьев способствуют также уплотнение почвы и повреждение нижних частей стволов деревьев отдыхающими.

Степень сходства видов в насаждениях ландшафтов парка достаточно высокая, особенно это относится к таежным породам. Из приведенных в табл. 6 матриц видно, что индексы Жаккара и Сьёренсена–Чекановского достаточно высокие. Это свидетельствует о разнообразии лишь нескольких видов древесных растений, в основном экзотов, в насаждениях ландшафтных районов парка. Высокая степень сходства видового состава встречается между насаждениями районов Большая Звезда и Долина р. Славянки, а также районов Старая и Новая Сильвия. Полученные результаты не случайны, так как парк сформирован в одно историческое время и на однородных лесных почвах. Несколько ниже степень сходства видового состава между насаждениями Долины р. Славянки и Старой Сильвии, а также между насаждениями Долины р. Славянки и Новой Сильвии.

Таблица 5

Санитарное состояние древесной растительности в ландшафтах Павловского парка

Ландшафтный район	Общее количество деревьев	Количество деревьев, шт., в возрасте, лет, в состоянии													
		до 40						от 40 до 100						свыше 100	
		хорошем	удовлетворительном	неудовлетворительном	хорошем	удовлетворительном	неудовлетворительном	хорошем	удовлетворительном	неудовлетворительном	хорошем	удовлетворительном	неудовлетворительном		
Белая Береза	213 650	138 712	61 801	3 320	5 444	1 597	83	1 438	1 151	110					
Большая Звезда	89 398	64 488	21 878	514	1 788	498	16	94	121	1					
Долина р. Славянки	28 628	21 493	2 994	385	1 814	638	30	581	671	22					
Парадное Поле	9 253	7 759	1 42	34	505	111	13	387	298	4					
Центральный	4 848	2 272	1 287	41	166	109	6	156	795	16					
Новая Сильвия	11 840	3 155	1 831	197	301	326	19	318	678	15					
Старая Сильвия	3 753	3 014	524	17	88	13	3	24	70	—					
<i>Всего</i>	361 370	245 893	90 457	4 508	10 106	3 286	170	2 998	3 784	168					

Таблица 6

Матрица индекса Жаккара (числитель) и Сьбрэнсена-Чекановского (знаменатель) в древостоях Павловского парка

Ландшафтный район	Значение индексов для ландшафтного района													
	Белая Береза		Большая Звезда		Долина р. Славянки		Парадное Поле		Центральный		Новая Сильвия		Старая Сильвия	
	Числитель	Знаменатель	Числитель	Знаменатель	Числитель	Знаменатель	Числитель	Знаменатель	Числитель	Знаменатель	Числитель	Знаменатель	Числитель	Знаменатель
Белая Береза	1,00/1,00	0,83/0,83	0,64/0,78	0,73/0,84	0,45/0,62	0,47/0,64	0,50/0,67	0,50/0,67	0,50/0,67	0,50/0,67	0,50/0,67	0,50/0,67	0,50/0,67	0,50/0,67
Большая Звезда	0,83/0,83	1,00/1,00	0,74/0,85	0,42/0,60	0,59/0,74	0,70/0,82	0,39/0,57	0,55/0,71	0,58/0,73	0,58/0,73	0,55/0,71	0,58/0,73	0,58/0,73	0,58/0,73
Долина р. Славянки	0,64/0,78	0,74/0,85	1,00/1,00	0,39/0,57	0,60/0,75	0,58/0,73	0,39/0,57	1,00/1,00	0,60/0,75	0,60/0,75	0,58/0,73	0,58/0,73	0,58/0,73	0,58/0,73
Парадное Поле	0,73/0,84	0,70/0,82	0,55/0,71	1,00/1,00	1,00/1,00	0,50/0,67	0,60/0,75	0,60/0,75	1,00/1,00	1,00/1,00	0,50/0,67	0,50/0,67	0,50/0,67	0,50/0,67
Центральный	0,45/0,62	0,59/0,74	0,58/0,73	0,60/0,75	1,00/1,00	0,50/0,67	0,58/0,73	0,58/0,73	0,50/0,67	0,50/0,67	0,50/0,67	0,50/0,67	0,50/0,67	0,50/0,67
Новая Сильвия	0,50/0,67	0,42/0,60	0,39/0,57	0,58/0,73	0,50/0,67	1,00/1,00	0,58/0,73	0,58/0,73	0,50/0,67	0,50/0,67	1,00/1,00	1,00/1,00	0,78/0,88	0,78/0,88
Старая Сильвия	0,50/0,67	0,47/0,64	0,39/0,57	0,64/0,78	0,56/0,72	0,78/0,88	0,64/0,78	0,64/0,78	0,56/0,72	0,56/0,72	0,78/0,88	0,78/0,88	1,00/1,00	1,00/1,00

По формулам (3) и (4), приведенным в методике исследований, рассчитаны индексы видового богатства и разнообразия биоценозов в различных ландшафтах парка (табл. 7).

Таблица 7

**Индексы видового богатства и разнообразия видов
в древесных насаждениях Павловского парка**

Ландшафтный район	Индекс Шеннона–Уивера	Индекс Симпсона
Белая Береза	2,98	0,85
Большая Звезда	2,41	0,74
Долина р. Славянки	3,73	0,89
Парадное Поле	3,42	0,88
Центральный	2,87	0,80
Новая Сильвия	2,60	0,74
Старая Сильвия	2,68	0,78

Видовое разнообразие древесных растений в Павловском парке определяется местонахождением ландшафта, почвенно-грунтовыми условиями и антропогенным воздействием на биоценоз. Наибольшим разнообразием видов характеризуются насаждения следующих районов: Долина р. Славянки, Центральный и Большая Звезда. Эти ландшафты являются центрами рекреации в парке, поэтому для повышения эстетического восприятия территории в насаждения вводят экзотические виды и вырубают сорные породы (осину, иву).

Заключение

Изучение видового состава древесных растений в ландшафтных районах Павловского парка свидетельствует о том, что наибольшее количество деревьев произрастает в ландшафтах Белая Береза, Большая Звезда и Долина р. Славянки. Это связано с тем, что эти районы имеют большие площади, представлены древесными массивами с высокой густотой древостоя. Для других ландшафтов характерно меньшее видовое разнообразие древесных растений. Видовой состав сообществ в ландшафтах Павловского парка относительно сходен, особенно по аборигенным породам. Доминирующие виды растений парка: ель европейская (25,53 %), береза пушистая (21,58 %), сосна обыкновенная (11,86 %), береза повислая (9,18 %), осина (8,00 %), которые являются коренными лесообразователями в таежной зоне, где расположен Павловский парк. Эти лесные виды растений традиционно использовались 300 лет назад при формировании парковых фитоценозов. В настоящее время древостои парка представлены как древесными массивами из аборигенных видов (сосна, ель, береза), так и искусственными куртинами, группами и аллеями из широколиственных пород (дуб, липа, вяз, клен и др.). В некоторых ландшафтах имеются группы деревьев и солитеры из ясеня обыкновенного, каштана конского, кедра сибирского, лиственницы сибирской.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеев А.С., Трейфельд Р.Ф., Григорьева С.О.* Оценка растительного разнообразия лесных экосистем. На примере Карельского перешейка Ленинградской области. СПб.: АРТ Юнион, 2002. 72 с.
2. *Максимов В.А., Савенков П.Ф., Эрф И.А.* Инвентаризационное описание Павловского парка // Пояснительная записка Главного управления культуры Ленгорисполкома. Л.: Гос. комитет СССР по лесному хозяйству, 1983. 41 с.
3. Озеление и благоустройство территории Санкт-Петербурга в правилах и нормативах /сост. Субота М.В. СПб., 2006. 164 с.
4. *Пяткова С.В., Горшкова Т.А., Сыныныс Б.И.* Экосистемное нормирование. учеб. пособие. Обнинск: ИАТЭ, 2007. 66 с.
5. *Соколов С.Я., Связева О.А., Кубли В.А.* Ареалы деревьев и кустарников СССР: в 3 т. Т. 1. Л.: Наука, 1977. 164 с.
6. *Geesink R., Leeuwenberg A.J.M., Ridsdale C.E., Veldkamp J.F.* Thonner's Analytical Key to the Families of Flowering Plants. Hague; Boston; London: Leiden University Press, 1981. 231 p.
7. *Nguyễn Xuân Quát.* Phương pháp điều tra đánh giá rừng trồng sản xuất // Viện Khoa học Lâm nghiệp. Vietnam, 2003. 56 p.
8. *McIntosh R.P.* Matrix and Plexus Techniques. Handbook of Vegetation Science. Vol. 5. Ordination and Classification of Communities / ed. by R.H. Whittaker. The Hague, 1978. Pp. 153–221.
9. *Margalef R.* Temporal Succession and Spatial Heterogeneity in Phytoplankton. USA: University of California Press, 1958. 27 p.
10. *Shannon C.E., Weaver W.* The Mathematical Theory of Communication. USA: University of Illinois Press, 1963. 125 p.
11. *Simpson E.H.* Measurement of Diversity // Nature. 1949. Vol. 163. 688 p.

Поступила 17.04.17

UDC 674.03

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.82

Assessment of Woody Plant Species Composition in Landscapes of the Pavlovsk Park in Saint Petersburg

V.F. Kovyazin¹, Doctor of Biological Sciences, Professor

K.Kh. Kan², Master

T.K. Fam², Master

¹Saint Petersburg Mining University, Vtoraya liniya, 2, Vasilyevsky Island, Saint Petersburg, 199026, Russian Federation; e-mail: vfkedr@mail.ru

²Saint Petersburg State Forest Technical University under name of S.M. Kirov, Institutskiy per., 5, Saint Petersburg, 194021, Russian Federation; e-mail: kimhung1985@gmail.com, phamquynhln@gmail.com

The Pavlovsk Park of St. Petersburg is divided into 7 natural landscapes. They differ in the species composition of plantations and soil conditions. With the use of a key to plants we identified tree and shrub species in plantations of all park landscapes and determined species

For citation: Kovyazin V.F., Kan K.Kh., Fam T.K. Assessment of Woody Plant Species Composition in Landscapes of the Pavlovsk Park in Saint Petersburg. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 5, pp. 82–91. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.82

diversity of its stands with the help of various indices. The composition community in the landscapes of the park is relatively similar, with the dominance of forest species: *Picea excelsa*, *Betula pubescens*, *Pinus sylvestris*, European white birch and *Populus tremula*. These species were predominant during the park formation from a coniferous forest. At present, there is a change of coniferous species to broad-leaved species due to the anthropogenic effects on the biocenosis. A part of coniferous and small-leaved species was sawn up to make logs for the fire during the Great Patriotic War. The landscape felling was carried out for the formation of half open landscapes and exteriors. *Quercus pedunculata* and *Tilia cordata* were planted in the felled areas. The number of plants in each landscape varies, depending on the square footage and stand density. Plantings are also distinguished by the number of species, age structure and sanitary state. Architectural and landscape plant compositions are represented by arborous large forests, separated forest stands and single trees.

Keywords: Pavlovsk park, woody plant, landscape area, species diversity, similarity and dissimilarity coefficients.

REFERENCES

1. Alekseev A.S., Treyfel'd R.F., Grigor'eva S.O. *Otsenka rastitel'nogo raznoobraziya lesnykh ekosistem. Na primere Karel'skogo peresheyka Leningradskoy oblasti* [Evaluation of Plant Diversity of Forest Ecosystems. The Case of the Karelian Isthmus of the Leningrad Region]. Saint Petersburg, Art Union Publ., 2002. 72 p. (In Russ.)
2. Maksimov V.A., Savenkov P.F., Erf I.A. Inventarizatsionnoe opisanie Pavlovskogo parka [Inventory Description of the Pavlovsk Park]. *Poyasnitel'naya zapiska Glavnogo upravleniya kul'tury Lengorispolkoma* [Explanatory Note of the Principal Directorate of Culture of the Leningrad Town Council]. Leningrad, USSR State Committee on Forestry, 1983. 41 p. (In Russ.)
3. *Ozelenenie i blagoustroystvo territorii Sankt-Peterburga v pravilakh i normativakh* [Landscaping and Infrastructure Development of Saint Petersburg in the Rules and Regulations]. Ed. by M. Subota, Saint Petersburg, Saint Petersburg State Forest Technical Academy Publ., 2006. 164 p. (In Russ.)
4. Pyatkova S.V., Gorshkova T.A., Synzynys B.I. *Ekosistemnoe normirovanie* [Ecosystem Regulation]. Obninsk, Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering Publ., 2007. 66 p. (In Russ.)
5. Sokolov S.Ya., Svyazeva O.A., Kubli V.A. *Arealy derev'ev i kustarnikov SSSR. T. 1* [Ranges of Trees and Shrubs in the USSR. Vol. 1]. Leningrad, Nauka Publ., 1977. 164 p. (In Russ.)
6. Geesink R., Leeuwenberg A.J.M., Ridsdale C.E., Veldkamp J.F. *Thonner's Analytical Key to the Families of Flowering Plants*. Hague; Boston; London, Leiden University Press, 1981. 231 p.
7. Nguyễn Xuân Quát. Phương pháp điều tra đánh giá rừng trồng sản xuất. *Viện Khoa học Lâm nghiệp*. Vietnam, 2003. 56 p.
8. McIntosh R.P. Matrix and Plexus Techniques. *Handbook of Vegetation Science. Vol. 5. Ordination and Classification of Communities*. Ed. by R.H. Whittaker. The Hague, 1978, pp. 153–221.
9. Margalef R. *Temporal Succession and Spatial Heterogeneity in Phytoplankton*. USA, University of California Press, 1958. 27 p.
10. Shannon C.E., Weaver W. *The Mathematical Theory of Communication*. USA, University of Illinois Press, 1963. 125 p.
11. Simpson E.H. Measurement of Diversity. *Nature*, 1949, vol. 163, p. 688.

Received on April 17, 2017

УДК 630*232.4

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.92

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОЗДАНИЯ ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР РАЗЛИЧНЫМ ВИДОМ ПОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА

С.А. Корчагов, д-р с.-х. наук, проф.

С.Е. Грибов, канд. с.-х. наук, доц.

О.Ю. Обрядина, асп.

Вологодская государственная молочнохозяйственная академия им. Н.В. Верещагина, ул. Панкратова, д. 9-а, корп. 7, с. Молочное, г. Вологда, Россия, 160555; e-mail: kors45@yandex.ru, griboff.s.e@mail.ru, obryadina_leya@mail.ru

Выращивание посадочного материала с закрытой корневой системой – перспективный способ получения сеянцев и саженцев, позволяющий иметь высокую приживаемость лесных культур и проводить посадку в течение всего безморозного периода. В 2013 г. в Вологодской области с использованием сеянцев с закрытой корневой системой создано 135,5 га лесных культур, в 2014 г. их площадь уже составила 265,2 га, в 2015 г. – 406,9 га, в 2016 г. – 321,0 га. Однако использование такого вида посадочного материала, кроме положительных моментов, имеет ряд недостатков. Одним из недостатков является значительная стоимость производства лесных культур. Данных о стоимости выращивания различного вида посадочного материала и производства лесных культур в литературных источниках практически нет. Цель нашего исследования – оценить стоимость создания лесных культур на сплошных вырубках посадочным материалом с открытой и закрытой корневыми системами. В результате проведенных расчетов установлено, что себестоимость сеянца с закрытой корневой системой на 42 % выше, чем сеянца с открытой корневой системой. Создание 1 га лесных культур посадочным материалом с закрытой корневой системой в 1,9 раза дороже, чем посадочным материалом с открытой корневой системой.

Ключевые слова: посадочный материал с открытой и закрытой корневыми системами, сеянцы, лесные культуры, технология посадки леса, сплошная рубка, себестоимость.

Введение

Вологодская область занимает одно из ведущих мест среди субъектов Российской Федерации по запасам лесосырьевых ресурсов. По данным Департамента лесного комплекса, леса в регионе занимают площадь 11,7 млн га, общий запас древесины – 1 614,2 млн м³, в том числе хвойных пород – 817,2 млн м³ (на 01.01.2016 г.). Расчетная лесосека составляет 29,7 млн м³, по хвойному хозяйству – 12,6 млн м³ [9, 15].

Для цитирования: Корчагов С.А., Грибов С.Е., Обрядина О.Ю. Экономическая оценка создания лесных культур различным видом посадочного материала // Лесн. журн. 2017. № 5. С. 92–102. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.92

Таблица 1

Динамика показателей (тыс. га) лесовосстановительных мероприятий в Вологодской области

Мероприятие	2012 г.		2013 г.		2014 г.		2015 г.		2016 г.	
	План/факт	% выполнения	План/факт	% выполнения	План/факт	% выполнения	План/факт	% выполнения	План/факт	% выполнения
Лесовосстановление: искусственное комбинированное естественное	3,52/4,12	117	3,69/4,01	109	3,86/4,11	106	4,04/4,31	107	4,22/4,89	116
	1,94/2,21	114	1,95/2,15	111	1,96/2,31	118	1,97/2,35	119	1,98/2,37	120
	3,58/3,66	102	3,61/3,64	101	3,63/3,75	103	3,67/4,23	115	3,69/4,39	119
Всего	41,22/42,95	104	41,77/42,52	102	42,30/43,94	104	42,67/49,00	115	43,05/51,16	119
Агротехнический уход за лесными культурами Подготовка почвы	10,91/10,86	100	11,01/11,02	100	11,06/11,59	105	11,11/11,34	102	11,22/11,98	107
	4,06/5,417	133	4,26/5,13	120	4,47/5,33	119	4,70/5,88	125	4,93/5,73	117

В лесопромышленном комплексе области работает свыше 150 крупных и средних предприятий, более 60 % из них занимаются лесозаготовительной деятельностью [4]. В соответствии со ст. 62 Лесного кодекса РФ [3] на лесных участках, предоставленных в аренду для заготовки древесины, лесовосстановление осуществляется арендаторами этих лесных участков.

На основании лесного плана Вологодской области объем лесовосстановительных мероприятий с 2012 по 2016 г. составляет в среднем 42 203,8 га [12–15]. Фактически объем выполненных лесовосстановительных работ за этот период достиг 45 915,0 га, что на 8,8 % больше планового показателя (табл. 1).

Наибольшую долю в процессе восстановления вырубок занимает естественное лесовозобновление (за 5 лет – в среднем 85,7 % от всех лесовосстановительных мероприятий). Как показывает опыт, естественное возобновление на площадях сплошных вырубок не всегда обеспечивает в приемлемые сроки восстановление лесов хозяйственно ценными древесными породами. Кроме того, внедрение агрегатной техники на лесосеках способствует увеличению площади волоков, количество сохранившегося подроста зачастую становится недостаточным для естественного возобновления леса. В сложившейся ситуации роль лесных культур приобретает особое значение.

В ходе развития лесокультурного производства менялись технологии посадки, оборудование, приобретались новые знания и опыт, определялись оптимальные виды растений для различных лесорастительных условий. В настоящее время, как и 10–15 лет назад, актуальной является посадка леса посадочным материалом с открытой корневой системой. Этот метод создания лесных культур имеет положительные и отрицательные стороны.

К плюсам можно отнести следующее:

низкая стоимость: сеянцы с открытой корневой системой в 2-3 раза дешевле, чем с закрытой;

наличие на лесных предприятиях оборудования для посадки;

неплохая приживаемость посадочного материала (60...80 %);

возможность механизации процесса посадки.

Минусам являются:

неполная приживаемость растений, требующая дополнительной посадки лесных культур, что приводит к дополнительным финансовым затратам;

осуществление посадки только в строго отведенное (ограниченное) время года;

ограниченность времени посадки и значительные объемы работ, вызывающие необходимость временного привлечения сторонних сотрудников, что требует дополнительного обучения и проверки качества выполненных ими работ и увеличивает как трудовые, так и финансовые затраты;

большое количество сеянцев на единицу культивируемой площади (3...4 тыс. шт./га);

значительная продолжительность выращивания посадочного материала (до 3 лет).

Технология посадки леса растениями с закрытой корневой системой вошла в нашу жизнь относительно недавно, хотя была разработана еще в 70-е гг. прошлого века. В последнее время интерес к посадочному материалу с закрытой корневой системой постоянно возрастает, о чем свидетельствует проведение многочисленных тематических семинаров и конференций с участием российских и зарубежных ученых [16]. Обмен мнениями показывает, что механический перенос технологических процессов в условия Севера России по ряду технических и биоклиматических условий не обеспечивает полную реализацию потенциала технологии использования посадочного материала с закрытой корневой системой. Необходима адаптация и совершенствование зарубежной технологии с учетом зональности и особенностей ведения лесного хозяйства в конкретном регионе.

В отличие от применения посадочного материала с открытыми корнями использование сеянцев с закрытой корневой системой имеет ряд преимуществ [5, 7, 8, 13]:

меньшее количество саженцев на единицу культивируемой площади (2 тыс. шт./га);

высокая приживаемость лесных культур (около 90 %);

короткий срок выращивания посадочного материала (1 год);

значительная продолжительность лесопосадочных работ (посадка может осуществляться все теплое время года, исключением является период почкования растений);

в силу возможности ведения посадки длительное время отсутствие необходимости временного привлечения большого количества людей для посадочных работ.

Однако применение посадочного материала с закрытой корневой системой имеет и существенные недостатки. К ним следует отнести высокую стоимость посадочного материала, малую распространенность метода и необходимость перемещения грузов со значительной массой в процессе транспортировки и посадки. В связи с этим имеются сведения об отказе от использования посадочного материала с закрытой корневой системой [2].

С 2011 г. в Вологодской области введен в действие комплекс по выращиванию посадочного материала с закрытой корневой системой. Проектом предусмотрено за одну ротацию выращивать 1 млн сеянцев хвойных пород, имеющих стопроцентную приживаемость. При благоприятных условиях за 1 год можно осуществить две ротации и вырастить 2 млн сеянцев с улучшенными наследственными свойствами. В 2013 г. в регионе с использованием сеянцев с закрытой корневой системой создано 135,5 га лесных культур, в 2014 г. – 265,2 га [1].

Цель нашего исследования – дать стоимостную оценку создания лесных культур на сплошных вырубках посадочным материалом с открытой и закрытой корневой системами.

Объекты и методы исследования

Первый участок лесных культур, созданных 1-летними сеянцами ели европейской с закрытой корневой системой, расположен в Пригородном сельском участковом лесничестве Вологодского лесничества. Площадь участка – 14,9 га. Лесокультурная площадь представлена вырубкой, на которой имелись пни в количестве 500 шт./га. Культуры созданы в сентябре 2012 г. Вид лесных культур – сплошные. Подготовку почвы проводили механизированным способом в июне 2012 г. (корчевка пней трактором Т-130, обработка почвы трактором ТДТ-55 с плугом ПЛ-1). Размещение борозд по площади равномерное, в северо-восточном направлении, расстояние между бороздами – 3...5 м, шаг посадки – 0,7 м, количество посадочных мест – 3 тыс. шт./га. Посадку сеянцев производили с помощью посадочной трубы «Поттипутка». Сеянцы выращены на территории комплекса по выращиванию посадочного материала с закрытой корневой системой (Вологодский лесхоз).

В Новленском участковом лесничестве Вологодского лесничества расположен второй участок лесных культур, созданных сеянцами ели европейской с открытой корневой системой. Площадь участка – 3,6 га. Вид лесных культур – сплошные. Культуры созданы в мае 2012 г. Обработку почвы проводили весной механизированным способом (трактор ТДТ-55А с плугом ПЛ-1). Размещение борозд на площади равномерное, расстояние между рядами – 5 м, шаг посадки – 1,1 м, количество посадочных мест – 3 тыс. шт./га. Посадку производили под меч Колесова. Посадочный материал выращен в питомнике Вологодского лесхоза.

Результаты исследования и их обсуждение

Относительное сходство в технологии создания лесных культур и их густоте позволило сделать соответствующие расчеты и выполнить их сравнительный анализ (табл. 2).

Таблица 2
Нормативно-технологическая карта на обработку почвы на обработку почвы под лесные культуры текущего и будущего года (площадь участка – 15 га, удаленность – 50 км)

Операция	Расчет фонда оплаты труда						Расчет потребности в материалах				Производственная стоимость, р.	
	Единицы измерения	Объем работ	Состав агрегата	Норма выработки на 1 чел.-дн.	Трудовые затраты, чел.-дн.	Общий фонд оплаты труда, р.	Единый социальный налог (начисления на фонд оплаты труда) 30,9 %	Материал	Норма расхода на единицу измерения	Цена за единицу, р.		Стоимость общего количества, р.
Проведение плужных борозд по ранее расчищенным полосам при длине тона 250 м	га	15	Трактор ТДТ-55	6,7	2,24	1 667,5	515,3	Дизтопливо, л Смазочные материалы 6,9 %, л Бензин 2,4 %, л Амортизация трактора ТДТ-55	64,8 3,726 1,296	30,03 201,00 29,27	1 945,9 748,9 37,9	
Перебазировка трактора	км	100*	Трал					Амортизация плуга ПЛ-1	2,2	162,00	362,7	
Доставка рабочих к месту работы и обратно	км	300**	Автомобиль УАЗ-3303		3,00	1 699,3	525,1	Аренда трабла, ч Спецодежда Запчасти Бензин, л Смазочные материалы 2,65 %, л Амортизация УАЗ-3303	16,0 – – 49,500 1,310	3 000,00 – – 29,27 215,00	48 000,0 10,54 446,4 1 448,9 282,0	
Итого прямые расходы	р.				5,24	3 366,87	1 040,36		3,0	290,00	870,0	61 960,0
Расходы на 1 га												4 130,6
Накладные расходы 30 %												4 410,0

* Предусмотрена аренда трабла. Стоимость принята как средняя для предприятий г. Вологда.

** Принято из расчета трехдневной доставки рабочих для обработки почвы.

Таблица 3
Нормативно-технологическая карта на посадку семян по предварительно обработанной почве (площадь участка – 15 га, удаленность – 50 км)

Операция	Расчет фонда оплаты труда						Елный социальный налог (начисления на фонд оплаты труда) 30,9 %	Расчет потребности в материалах				Производственная себестоимость, р.	
	Единицы измерения	Объем работ	Состав агрегата	Норма выработки на 1 чел.-дн.	Трудовые затраты, чел.-дн.	Общий фонд оплаты труда, р.		Материала	Норма расхода на единицу измерения	Цена за единицу, р.	Стоимость количества, р.		
Погрузка, разгрузка посадочного материала	тыс.	45	Вручную	20	2,25	1 240,41	383,29	Геофрупаковка, шт.	13,00	32,46	18 989,10		
	шт.			171	0,26	147,26	45,50	Мешки, шт.	22,50	42,00	945,00		
Перевозка посадочного материала	км	300	ГАЗ-33023	500	0,60	339,88	105,09	Смазочные материалы 2,65 %, л Амортизация ГАЗ-33023	0,44	215,00	483,00		
					0,20	113,28	35,00			0,20	378,00	283,80	94,00
Посадка семян	шт.	45 000	Вручную	648	69,44	38 276,28	11 827,37	Посадочный материал	3000	4,60	207 000,00		
				642	70,09	38 634,02	11 937,91		шт./га	1,90	85 500,00		
Промер участка мерной лентой	км	3,3	Вручную	3,7	0,89	594,14	183,59	Бензин, л Масло для приготовления рабочей смеси 2 %, л Масло для смазки пыльного аппарата 50 %, л	0,1	29,27	2,50		
		2,3			0,62	413,91	127,90			0,0017	340,00	0,60	
Изготовление и постановка столбов	шт.	4	Бензопила «Хускварна»	7,5	0,33	353,83	109,33	Спецедежда Запчасти			134,41		
											580,70		
Доставка рабочих к месту работы и обратно	км	1 209	УАЗ-3303		12,10	6 845,60	2 115,30	Бензин, л Смазочные материалы 2,65 %, л Амортизация УАЗ-3303	199,41	29,27	5 846,60		
									5,28	215,00	1 136,10		
Итого прямые расходы	р.					47 650,14	14 723,97		12,09	290,00	3 504,70		
						46 507,90	14 370,94					239 158,68	301 532,79
Расходы на 1 га												98 307,71	159 186,55
Итого с накладными расходами 30 %													20 102
													10 612
													26 132
													13 795

Примечание. В числителе приведены данные для семян с закрытой корневой системой, в знаменателе – для семян с открытой корневой системой.

При расчетах использованы Нормы расхода ГСМ на механизированных работах, выполняемых в лесном хозяйстве [12], Постановление Правительства РФ № 1 от 01.01.2002 г. [11], Приложение № 4 к Постановлению Министерства труда и социального развития РФ от 29.12.1997 г. № 68 [10] и Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте [6]. Расчеты показывают, что затраты на обработку почвы на участках культур составляют 4 130,6 р./га.

Нормативно-технологическая карта на посадку семян с закрытой и открытой корневой системой по предварительно подготовленной почве представлена в табл. 3.

Согласно выполненным нами расчетам, стоимость создания 1 га лесных культур посадочным материалом с закрытой корневой системой составляет 20 102 р., что в 1,9 раза выше стоимости создания лесных культур посадочным материалом с открытой корневой системой. Превышение стоимости создания лесных культур посадочным материалом с закрытой корневой системой вызвано его значительной себестоимостью, и, как следствие, высокой ценой реализации.

Общие затраты (прямые и косвенные) на выращивание посадочного материала с закрытой корневой системой составляют 2 465,1 тыс. р. (без учета накладных расходов – 30 % от общих затрат, или 739,5 тыс. р.) За период с 2015 по 2016 г. в комплексе Вологодского лесхоза на эти средства было выращено 981 587 шт. семян с закрытой корневой системой. Таким образом, себестоимость одного семени составляет 3,3 р. Сеянцы, выращенные по государственному заданию, реализуются по цене 4,6 р. за 1 шт., цена реализации сторонним организациям – 8,0 р. с учетом НДС.

Себестоимость одного семени с открытой корневой системой составляет 1,9 р., цена реализации сторонним организациям – 3,5 р.

Заключение

Выполненная нами стоимостная оценка приемов создания лесных культур указывает на то, что себестоимость семени с закрытой корневой системой на 42,0 % превышает себестоимость семени с открытой корневой системой. Таким образом, создание 1 га лесных культур посадочным материалом с закрытой корневой системой в 1,9 раза дороже, чем с открытой корневой системой. Однако использование посадочного материала с закрытой корневой системой обеспечивает относительно высокую приживаемость растений и позволяет производить посадку в течение длительного периода времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грибов С.Е., Ганжа Н.В. Лесоводственно-экономическая оценка лесных культур, созданных различным видом посадочного материала // Молочнохоз. вестн. 2015. № 1 (17). С. 14–22. Режим доступа: <http://molochnoe.ru/journal/ru/node/508> (дата обращения: 10.09.2015).

2. *Жигунов А.В.* Теория и практика выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой для лесовосстановления: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. СПб., 1998. 46 с.

3. Лесной кодекс Российской Федерации: федер. закон от 04.12.2006 № 200-ФЗ, Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_law_64299/ (дата обращения: 10.09.2015).

4. Лесной комплекс Вологодской области. Вчера. Сегодня. Завтра / А.Н. Плеханов, В.В. Грачев, Б.А. Дьячков, М.А. Куковеров, Л.И. Левина, С.А. Москвин, А.А. Понтяр, В.А. Ситенев, А.С. Шулев, Е.Н. Юричев, В.С. Аристова, Т.В. Алешина. Вологда, 2003. 200 с.

5. *Матюхина З.Ф., Жигунов А.В., Шестакова Т.А.* Лесокультурная оценка разных видов посадочного материала сосны и ели // Посадочный материал для создания плантационных культур: сб. науч. тр. ЛенНИИЛХ. Л., 1986. С. 3–10.

6. Методические рекомендации «Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте»: прил. к распоряжению Минтранса России от 14.03.2008 № АМ-23-р. Режим доступа: http://dis.ru/gif/zakon/300614/rasporyazhenie_ot_14_marta_2008_g_n_am_23_r.pdf (дата обращения: 10.09.2015).

7. *Мочалов Б.А.* Использование разных видов посадочного материала для лесовосстановления в зоне тайги европейской части России // Вопросы таежного лесоводства на Европейском Севере: сб. науч. тр. СевНИИЛХ. Архангельск, 2005. С. 123–136.

8. *Мочалов Б.А., Бобушкина С.В.* Влияние вида кассет на размеры сеянцев сосны с закрытыми корнями и их рост в культурах на Севере // Лесн. журн. 2013. № 5/335. С. 65–70. (Изв. высш. учеб. заведений).

9. Официальный сайт Департамента лесного комплекса Вологодской области. Режим доступа: <http://dlk.gov35.ru/> (дата обращения: 10.09.2015).

10. Постановление Минтруда РФ от 29.12.97 № 68 «Об утверждении типовых отраслевых норм бесплатной выдачи работникам специальной одежды, специальной обуви и других средств специальной защиты». Режим доступа: http://www.lawrussia.ru/bigtexts/law_113/index.htm (дата обращения: 10.09.2015).

11. Постановление Правительства РФ от 01.01.2002 № 1 «О классификации основных средств, включаемых в амортизационные группы». Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34710/ (дата обращения: 10.09.2015).

12. Приказ от 13.09.1999 г. № 180 «Об утверждении "Норм расхода горюче-смазочных материалов на механизированных работах, выполняемых в лесном хозяйстве"». Режим доступа: http://www.umospartner.ru/assets/files/Vopros_otvet1/2011_11_21%20Prikaz%20Rosleskhoza%20ot%2013%20sentyabrya%201999%20goda%20180.pdf (дата обращения: 10.09.2015).

13. Публичный доклад о результатах деятельности Департамента лесного комплекса за 2013 год. Режим доступа: http://www.forestvolgda.ru/files/20_01_14_doklad.pdf (дата обращения: 10.09.2015).

14. Публичный доклад о результатах деятельности Департамента лесного комплекса Вологодской области за 2014 год. Режим доступа: http://www.forestvolgda.ru/files/dok14_03-15.pdf (дата обращения: 10.09.2015).

15. Публичный доклад о результатах деятельности Департамента лесного комплекса Вологодской области за 2016 год. Режим доступа: http://volgda-oblast.ru/vlast/ispolnitelnaya_vlast/departament_selskogo_khozyaystva_i_prodovalstvennykh_resursov_vologodskoy_oblasti/otchet/index.php?ELEMENT_ID=1284066 (дата обращения: 22.08.2017).

16. Рикала Р. Производство посадочного материала в Финляндии // Лесовосстановление на Европейском Севере: материалы финляндско-российского семинара по лесовосстановлению, 28.09–02.10.1998, Вуокатти. Финляндия: Науч. центр Вантаа, 2000. С. 133–146.

Поступила 10.04.17

UDC 630*232.4

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.92

Economic Appraisal of Forest Plantation Development by Kinds of Planting Material

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

S.E. Gribov, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

O.Yu. Obryadina, Postgraduate Student

Vologda State Dairy Farming Academy by N.V. Vereshchagin, ul. Pankratova, 9a, bl. 7, Molochnoe, Vologda, 160555, Russian Federation; e-mail: kors45@yandex.ru, griboff.s.e@mail.ru, obryadina_leya@mail.ru

Cultivation of ball-rooted planting stock is a promising way of obtaining seedlings to achieve high degree of root-taking of forest plantations and to plant during the entire frost-free season. In 2013, 135.5 ha of forest cultures were created in the Vologda region using ball-rooted planting stock; in 2014 their area amounted to 265.2 ha, in 2015 – 406.9 ha, and in 2016 – 321.0 ha. However, the use of this type of planting material in addition to positive aspects has a number of disadvantages. One of the drawbacks is the significant cost of production of forest crops. Practically, we have not found any data on the cost of cultivating various types of planting material and production of forest cultures. The goal of research is to estimate the cost of creating forest crops in clean felling with ball-rooted and bare root tree planting stock. As a result of the calculation, we have established that the cost of a ball-rooted seedling is 42 % higher than the cost of an open-rooted seedling. The cost of creating 1 ha of forest cultures by ball-rooted planting stock is 1.9 times more expensive than bare root tree planting stock.

Keywords: ball-rooted planting stock, bare root tree planting stock, seedling, forest crop, forest planting technology, clean felling, cost price.

REFERENCES

1. Gribov S.E., Ganzha N.V. Lesovodstvenno-ekonomicheskaya otsenka lesnykh kul'tur, sozdannykh razlichnym vidom posadochnogo materiala [Forestry and Economic Appraisal of Forest Cultures Created with Different Kinds of Planting Material]. *Molochnokhozyaistvenny Vestnik* [The Dairy Farming Bulletin], 2015, no. 1(17), pp. 14–22.

For citation: Korchagov S.A., Gribov S.E., Obryadina O.Yu. Economic Appraisal of Forest Plantation Development by Kinds of Planting Material. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 5, pp. 92–102. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.92

2. Zhigunov A.V. *Teoriya i praktika vyrashchivaniya posadochnogo materiala s zakrytoy kornevoy sistemoy dlya lesovosstanovleniya*: avtoref. dis. ... d-ra s.-kh. nauk [Theory and Practice of Ball-Rooted Planting Stock Growing for Reforestation: Dr. Agric. Sci. Diss. Abs.]. Saint Petersburg, 1998. 46 p.

3. *Lesnoy kodeks Rossiyskoy Federatsii: federal'nyy zakon ot 04.12.2006 № 200-FZ* [Forest Code of the Russian Federation: Federal Law No. 200-FZ of 04 December 2006]. Available at: www.consultant.ru/document/cons_doc_law_64299 (accessed 10.09.2015).

4. *Lesnoy kompleks Vologodskoy oblasti. Vchera. Segodnya. Zavtra* [Forest Complex of the Vologda Region. Yesterday. Today. Tomorrow]. Ed. by A.N. Plekhanov, V.V. Grachev, B.A. D'yachkov, M.A. Kukoverov, L.I. Levina, S.A. Moskvina, A.A. Pontyar, V.A. Sitenev, A.S. Shulev, E.N. Yurichev, V.S. Aristova, T.V. Aleshina. Vologda, 2003. 200 p. (In Russ.)

5. Matyukhina Z.F., Zhigunov A.V., Shestakova T.A. *Lesokul'turnaya otsenka raznykh vidov posadochnogo materiala sosny i eli* [Silvicultural Assessment of Different Kinds of Pine and Spruce Planting Material]. *Posadochnyy material dlya sozdaniya plantatsionnykh kul'tur: sb. nauch. tr.* [Planting Material for Forest Plantation Development]. Leningrad, Leningrad Forestry Research Institute Publ., 1986, pp. 3–10. (In Russ.)

6. *Metodicheskie rekomendatsii "Normy raskhoda topliv i smazochnykh materialov na avtomobil'nom transporte": prilozhenie k rasporyazheniyu Mintransa Rossii ot 14.03.2008 № AM-23-r* [Methodological Recommendations "Norms for the Consumption of Fuels and Lubricants in Road Transport": Legislative Schedule to the Order of the Ministry of Transport of Russia Dated March 14, 2008 No. AM-23-r]. Available at: http://dis.ru/gif/zakon/300614/rasporyazhenie_ot_14_marta_2008_g_n_am_23_r.pdf (accessed 10.09.2015).

7. Mochalov B.A. *Ispol'zovanie raznykh vidov posadochnogo materiala dlya lesovosstanovleniya v zone taygi evropeyskoy chasti Rossii* [Different Types of Planting Material for Reforestation in the Taiga Zone of the European Part of Russia]. *Voprosy taezhnogo lesovodstva na Evropeyskom Severe: sb. nauch. tr.* [The Issues of Taiga Forestry in the European North]. Arkhangel'sk, Northern Research Institute of Forestry Publ., 2005, pp. 123–136. (In Russ.)

8. Mochalov B.A., Bobushkina S.V. *Vliyanie vida kasset na razmery seyantsev sosny s zakrytymi korniyami i ikh rost v kul'turakh na Severe* [Influence of the Type of Containers and the Size of Containerized Pine Seedlings on their Growth in Artificial Stands in the North]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2013, no. 5, pp. 65–70.

9. *Ofitsial'nyy sayt Departamenta lesnogo kompleksa Vologodskoy oblasti* [The Official Site of the Forestry Department of the Vologda Region]. Available at: <http://dlk.gov35.ru/> (accessed 10.09.2015).

10. *Postanovlenie Mintruda RF ot 29.12.97 № 68 "Ob utverzhdenii tipovykh otraslevykh norm besplatnoy vydachi rabotnikam spetsial'noy odezhdy, spetsial'noy obuvi i drugikh sredstv spetsial'noy zashchity"* [Decree of the Ministry of Labor of the Russian Federation No. 68 of December 29, 1997 "On Approval of Standard Industry Norms for the Free Issue of Special Clothes, Special Footwear and Other Special Protection Equipment to Employees"]. Available at: http://www.lawrussia.ru/bigtexts/law_113/index.htm (accessed 10.09.2015).

11. *Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 01.01.2002 № 1 "O klassifikatsii osnovnykh sredstv, vkluychaemykh v amortizatsionnye gruppy"* [Resolution of the Government of the Russian Federation No. 1 of 01 January 2002 "On Classification of Fixed Assets Included in Depreciation Groups"]. Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34710 (accessed 10.09.2015).

12. *Prikaz ot 13 sentyabrya 1999 g. № 180 “Ob utverzhdenii “Norm raskhoda goryuche-smazochnykh materialov na mekhanizirovannykh rabotakh, vypolnyaemykh v lesnom khozyaystve”* [Order No. 180 of September 13, 1999 “On Approval of the Norms for Consumption of Fuels and Lubricants on Mechanized Works Performed in Forestry”]. Available at: http://www.umocpartner.ru/assets/files/Vopros_otvet1/2011_11_21%20Prikaz%20Rosleskhoza%20ot%2013%20sentyabrya%201999%20goda%20180.pdf (accessed 10.09.2015).

13. *Publichnyy doklad o rezul'tatakh deyatel'nosti Departamenta lesnogo kompleksa za 2013 god* [Public Report on the Results of the Forestry Department Activities for 2013]. Available at: http://www.forestvologda.ru/files/20_01_14_doklad.pdf (accessed 10.09.2015).

14. *Publichnyy doklad o rezul'tatakh deyatel'nosti Departamenta lesnogo kompleksa Vologodskoy oblasti za 2014 god* [Public Report on the Results of the Forestry Department Activities of the Vologda Region for 2014]. Available at: http://www.forestvologda.ru/files/dokl14_03-15.pdf (accessed 10.09.2015).

15. *Publichnyy doklad o rezul'tatakh deyatel'nosti Departamenta lesnogo kompleksa Vologodskoy oblasti za 2016 god* [Public Report on the Results of the Forestry Department Activities of the Vologda Region for 2016]. Available at: http://vologda-oblast.ru/vlast/ispolnitelnaya_vlast/departament_selskogo_khozyaystva_i_prodoovolstvennykh_resursov_vologodskoy_oblasti/otchety/index.php?ELEMENT_ID=1284066 (accessed 22.08.2017).

16. Rikala R. *Proizvodstvo posadochnogo materiala v Finlyandii* [Production of Planting Material in Finland]. *Lesovosstanovlenie na Evropeyskom Severe: materialy finlyandsko-rossiyskogo seminara po lesovosstanovleniyu, 28.09–02.10.1998, Vuokatti* [Forest Restoration in the European North: Proc. Finnish-Russian Seminar on Reforestation, 28.09–02.10.1998, Vuokatti]. Finland, Vantaa, 2000, pp. 133–146.

Received on April 10, 2017



УДК 634.032

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.103

МЕТОДЫ УЧЕТА ДРЕВОСТОЕВ ЛЕСОСЕК И МОНИТОРИНГА ПРОИЗВЕДЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

Н.В. Казаков, д-р техн. наук, доц.

П.Б. Рябухин, д-р техн. наук, проф.

Тихоокеанский государственный университет, ул. Тихоокеанская, д. 36, г. Хабаровск, Россия, 680035; e-mail: kazakov.nikolay@mail.ru, PRyabukhin@mail.khstu.ru

Показана возможность организации автоматизированного учета доступными техническими средствами лесопромышленных древесных ресурсов и произведенной древесины. Проведен анализ взаимосвязи наполнения актуальными данными о древесных ресурсах информационной системы лесопромышленного предприятия и эффективности его практической деятельности, обоснован выбор методов дистанционного зондирования Земли, обеспечивающих заданную точность получаемых фактических данных о лесных ресурсах. Предложен алгоритмический метод управления процессами учета древесных ресурсов и произведенной древесины в адресной базе данных и среде Единой государственной автоматизированной информационной системы учета древесины и сделок с ней в соответствии с нормами лесного права. Разработка систем автоматизированного управления процессами учета древесных ресурсов, отводимых в рубку, и информационными потоками производства и реализации древесины предприятия опирается на создаваемые цифровые пространственные модели реальных участков леса, подлежащих рубке. Принципиально отличающимся от известных методов являются именно метод автоматизированной виртуальной маркировки произрастающих деревьев, производимой в процессе подготовки лесосеки в рубку дистанционными методами, а также адресная привязка полученных данных о каждом конкретном дереве и точном географическом его местоположении в корпоративной информационной системе. Разработаны технология автоматизированного управления процессами учета и метод виртуальной маркировки деревьев лесосеки, способ автоматического клеймения произведенной продукции на лесосеке. Предложенный метод и совокупность программно-аппаратных средств информационного связывания получаемой информации обеспечивают полный и открытый учет эксплуатируемых лесных ресурсов и контроль перемещений древесины с применением технических средств.

Для цитирования: Казаков Н.В., Рябухин П.Б. Методы учета древостоев лесосек и мониторинга произведенной продукции // Лесн. журн. 2017. № 5. С.103–109. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.103

Ключевые слова: учет древостоев, виртуальная маркировка деревьев, клеймение, алгоритм, дистанционное зондирование Земли, информатизация, автоматизация, управление.

Развитие методов учета древесных ресурсов, маркирования, дистанционного мониторинга и контроля перемещений произведенной древесины определяется нормами лесного и административного права Российской Федерации.

В современных условиях возросли требования к точности получаемой информации о лесных ресурсах промышленного назначения и их учету в целях сбора данных о происхождении древесины и мониторинга перемещений маркированной продукции [7, 9]. На передний план выдвигаются и очень важные задачи по сбору актуальных данных о лесных ресурсах и их оперативной обработке. Из числа практически используемых инструментов, обеспечивающих оперативность и результативность управления учетной политикой лесопромышленных предприятий, наиболее удобными являются автоматизированные геоинформационные системы, позволяющие создать единое информационное пространство предприятия с возможностью эффективного обмена информацией между его подразделениями, оперативно интегрировать внешнюю информацию для научного обоснования планирования практических действий. Методы и технологии дистанционного получения информации в решении задач мониторинга лесов постоянно совершенствуются. Так, для изучения и высокоточного измерения параметров лесного покрова все шире применяется лазерное зондирование [7, 8 и др.]. Использование высокоточных систем глобального спутникового позиционирования, бортовой лазерной и цифровой видеосъемки характеристик земной поверхности и растительности лесных участков (лесосек) позволяет дистанционно измерять геометрические параметры наземных объектов с точностью около 5 см в плане и с дециметровой точностью по высоте [6, 8 и др.]. Разработка и реализация подобной информационной системы для лесопромышленного предприятия предполагает моделирование входящих и исходящих компонентов и их взаимосвязей.

Один из эффективных подходов к построению информационной модели учета лесных ресурсов – алгоритмическое моделирование, основанное на интеграции классических имитационных моделей операций и машин с пространственными цифровыми моделями рельефа и древостоя [3, 5, 7, 8]. Алгоритмичность модели позволяет наиболее полно учесть основные свойства и взаимосвязанность составных частей процессов лесопользования при учете древесных ресурсов и перемещений производимой продукции из древесины. При этом разветвление вычислительного процесса информационной модели учета лесных ресурсов в соответствии с логическими условиями, описываемыми математическими конструкциями, обеспечивает значительное увеличение скорости обработки информации в среде Единой государственной автоматизированной информационной системы учета древесины и сделок с ней.

Основное содержание метода учета древесины для промышленного лесопользования и его алгоритмические особенности заключаются в выполнении следующей последовательности действий:

1. Выполняется сбор, подготовка исходных данных и их анализ:

сбор существующей информации о лесных древесных ресурсах и производственных условиях на основе лесоустроительных и географических карт, таксационных описаний, сортиментных таблиц и др.;

сканирование лесного участка методами дистанционного зондирования Земли (в частности, на первом этапе путем получения и обработки спектральных спутниковых снимков и на следующем этапе путем сбора потоковых данных лазерной локации древостоя лесосеки и подстилающей земной поверхности);

синхронизация полученных дистанционным способом цифровых таксационных данных лесных ресурсов с данными лесоустроительных документов.

2. Осуществляется пространственное цифровое моделирование древостоя лесосеки и рельефа местности на базе геоинформационных технологий. Для построения трехмерного изображения рельефа обычно используется локальная интерполяция кривыми неоднородного рационального фундаментального сплайна [7 и др.]. Наибольшее распространение получила рациональная параметрическая кривая на основе В-сплайн-интерполяции (B-spline). Обозначим ее $N_{i,p}(u)$ степени p (порядок $p + 1$). Она построена по вершинам p_i ($i = 1, 2, \dots, n$; $n \geq m$) с весами w_i и может быть описана в каждой своей точке с помощью стандартно применяемого радиус-вектора $r(u)$ [8]:

$$r(u) = \sum_{i=1}^n N_{i,p}(u) w_i p_i / \sum_{i=1}^n N_{i,p}(u) w_i, \text{ где } u_{\min} \leq u \leq u_{\max}. \quad (1)$$

3. Создаются на основе полученных цифровых моделей рельефа и лесных ресурсов следующие тематические слои лесной территории: непокрытые лесом земли, гари, ветровалы и др.; покрытые лесом земли распределяются на области в соответствии с планом лесонасаждений, в них отдельно выделяются аномальные (например, больные, зараженные вредителями насаждения) и другие зоны, информация о которых очень важна при планировании освоения участка [6, 7].

3.1. Осуществляются пространственно-математическое моделирование и локальное геокодирование каждого k -го дерева (устанавливаются данные о его породе P_k , высоте H_k , форме F_k и диаметре кроны D_k^{kp} (по п. 1)):

3.1.1. Вычисляются точки расположения центров стволов $S_k = f(x, y, z)$.

3.1.2. Определяются (прогнозируются) возраст $T_k = f(P_k, H_k, F_k, D_k^{kp})$ каждого k -го дерева на основе данных лазерного локационного измерения древостоя, а также основные его геометрические характеристики с помощью известных эмпирических зависимостей (например, диаметр ствола $D_k^{ct} = f(P_k, H_k)$, его сбежистость $C_k = f(P_k, H_k)$ и др.) [3 и др.].

3.1.3. Проверяются полученные характеристики деревьев древостоя на вероятность аналитических ошибок идентификации параметров по условиям ограничений, заданных дифференциальным законом их распределения [3, 9]:

$$\varphi(Z_j) = \sum_{i=1}^n \left\{ \alpha_i \left(\frac{1}{2\pi\delta_{5i}^2\delta_{9i}^2} \right) \left(\exp \left(- \left[\frac{(R_5 - r_5)^2}{2\delta_{5i}^2} + \frac{(R_9 - r_9)^2}{2\delta_{9i}^2} \right] \right) \right) \right\} \forall, \quad (2)$$

где n – количество мод закона распределения;

α_i – коэффициенты, определяющие долю i -й моды в композиционном законе;

$\delta_{ij}^2, \bar{z}_{ij}$ – параметры закона распределения для j -й переменной i -й группы;

$$R_5 = \sum_{j=1}^k a_j \bar{z}_j; \quad R_9 = \sum_{j=1}^k b_j \bar{z}_j; \quad r_5 = \sum_{j=1}^k a_j \bar{z}_j; \quad r_9 = \sum_{j=1}^k b_j \bar{z}_j;$$

k – число переменных;

a_j, b_j – коэффициенты факторных вкладов [4].

3.2. Задаются и маркируются (электронно-виртуально) деревья с учетом их функционального назначения (например, подлежащие рубке S^{py6}_j), в том числе и для использования в навигационных целях (в качестве реперов) S^{pen}_l , где $l \leq k$;

3.3. Накладывается сеть по кварталам и по выделам.

3.4. Проводится подготовка документов для выполнения работ по отводу лесосечного фонда на местности.

4. Осуществляются количественная оценка параметров отведенного лесосечного фонда, предварительная оценка экономического эффекта разработки данной лесосеки и определение лицом, принимающим решение, технологического воздействия на лесную среду [3, 5]:

доля выборки деревьев и сохранения подроста, оставления семенных куртин и др.;

перечень деревьев, подлежащих рубке S^{py6}_j , где $j \leq k$;

выход z -го потенциального сортимента $S^{py6}_{jz} = f(S^{py6}_j, H_k, D^{ct}_k, C_k)$ (оценка производится с помощью программного комплекса [5]).

5. Производятся планирование работ, выбор наиболее эффективного пути следования лесозаготовительной машины (харвестера) $\bar{R} = f(r(t), S_k, S^{pen}_l, S^{py6}_j, S^{py6}_{jz}, \bar{R}, \Psi^{opt})$ и мест технологических стоянок T^{ct}_i , обеспечивающих однозначную досягаемость к группе S^{py6}_j каждой i -й стоянки.

6. Генерируются (с помощью программного комплекса) программы систем автоматического управления $P^{CAV} = f(r(t), S_k, S^{pen}_l, S^{py6}_j, S^{py6}_{jz}, \bar{R}, \Psi^{opt})$ соответственно для модулей лесного комбайна (харвестера) $P^{CAV}_л$ и транспортного модуля (форвардера) $P^{CAV}_м$. При решении задачи управления харвестером и форвардером выходным параметром будет являться набор векторов их движения по лесосеке V_i [5].

7. Генерируются подпрограммы клеймения P^p_m для учета произведенной продукции P^p_y и контроля ее перемещений S^{py6}_{jz} для харвестера $P^{CAV}_л$ и для транспортного модуля $P^{CAV}_м$ [5].

Применение виртуальной маркировки растущих деревьев на лесосеке позволяет автоматизировать их учет, обеспечить оперативное решение хозяйственных и технологических вопросов с формированием потенциального банка сортиментов и избежать проблем коллизии нескольких геометрических фигур (деревьев) при маркировке электронными устройствами [4].

Процедура автоматического клеймения произведенной продукции из древесины (сортиментов) реализуется следующим образом. Харвестер выдвигается на делянку, выполняет срезание деревьев, их клеймение и первичную обработку известными способами. При этом операция клеймения производимой продукции электронными идентификаторами осуществляется способом, представленном в описании изобретения [1]. После срезания дерева (или отрезания текущего готового сортимента) производится клеймение будущей продукции приспособлением, встроенным в процессорную головку, путем внедрения в волокна древесины модифицированного электронного идентификатора. После клеймения дерева (или оставшейся части) выполняется первичная обработка будущей продукции. Далее вся имеющаяся информация о производимой продукции (сортименте) связывается с уникальным кодом идентификатора и передается для учета в соответствующую корпоративную базу данных, а также в среду Единой государственной автоматизированной информационной системы учета древесины и сделок с ней в соответствии с нормами лесного права. Клейменная продукция в случае необходимости может быть подвергнута инспектированию техническими средствами [1]. Функционирование считывателя клейменной древесины в целях контроля ее передвижений осуществляется стандартными способами, а идентификация группы уникальных кодов электронных идентификаторов (клейм) – с помощью встроенных в считыватель известных программно-аппаратных средств, использующих процедуру антиколлизии принимаемых сигналов [2, 4, 7]. В отличие от аналогов предлагаемый метод позволяет выполнять операцию клеймения произведенной продукции при обработке деревьев автоматически за один технологический проход и тем самым повышать эффективность учета произведенной древесины и контроля ее перемещений.

Таким образом, разработанная технология автоматизированного учета древесных ресурсов и произведенной продукции способна обеспечить полный и эффективный контроль процессов на лесопромышленном предприятии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. РФ № 153577. Агрегат для лесопользования / Казаков Н.В., Кривошева Р.Н. Опубл. 27.07.2015, Бюл. № 21.
2. Пат. РФ № 2589325. Способ мониторинга перемещения и автоматического контроля легальности заготовки круглых лесоматериалов в цепи поставок / Симоненков М.В., Салминен Э.О., Бачериков И.В. Опубл. 10.07.2016, Бюл. № 19.

3. *Рябухин П.Б., Ковалев А.П., Казаков Н.В., Луценко Е.В.* Лесозаготовки на Дальнем Востоке – состояние и перспективы: моногр. Хабаровск: ДальНИИЛХ, 2010. 283 с.
4. *Санников С.П., Герц Э.Ф., Дьячкова А.А.* Методология дистанционного мониторинга древостоев и транспортных потоков древесины // *Лесн. журн.* 2016. № 3(351). С. 109–116. (Изв. высш. учеб. заведений).
5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016617425. Программный комплекс для информационно-управляющей системы лесозаготовительного предприятия / Казаков Н.В., Кривошеева Р.Н. М.: Роспатент, 2016.
6. *Avery T.E., Burkhart H.E.* Forest Measurements. New York, USA: McGraw-Hill Book Company, 2002. 456 p.
7. *Ko C., Sohn G., Remmel T.K.* Tree Genera Classification with Geometric Features from High-Density Airborne LiDAR // *Canadian Journal of Remote Sensing.* 2013. No. 39. Pp. S73–S85.
8. *Maguire D.J., Goodchild M.F., Batty M.* / eds. GIS, Spatial Analysis, and Modeling. Redlands, California, USA: Esri Press, 2005. 480 p.
9. *Saraikin V.G., Kazakov N.V., Hongzhen Zhan.* Mathematical Models of Principal Felling Characteristics on Cutting Areas in the Far East // *Journal of Northeast Forestry University.* 1989. Vol. 7, no. 5. Pp. 95–100.

Поступила 21.04.17

UDC 634.032

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.103

The Accounting Methods of Stands in the Harvest Sites and Actual Production Monitoring

N.V. Kazakov, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor

P.B. Ryabukhin, Doctor of Engineering Sciences, Professor

Pacific National University, ul. Tikhookeanskaya, 136, Khabarovsk, 680035, Russian Federation; e-mail: kazakov.nikolay@mail.ru, PRyabukhin@mail.khstu.ru

The paper presents the possibility of mechanical accounting of timber resources and produced wood by available technical means. We substantiated the analysis of the relationship between the content of the information system of the wood enterprise by relevant data on timber resources and the efficiency of its practical activity, justified the choice of methods of remote sensing of the Earth to provide the desired accuracy of the actual data on forest resources. An algorithm approach of managing the accounting of timber resources and produced wood in the address database and environment of the Unified State Automated Information System of wood accounting and transactions with it in accordance with the forest law is proposed. The development of automated management systems for the accounting of wood resources to be cut and the information flows of production and sales of wood of the

For citation: Kazakov N.V., Ryabukhin P.B. The Accounting Methods of Stands in the Harvest Sites and Actual Production Monitoring. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 5, pp. 103–109. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.103

enterprise is based on the created digital spatial models of real forest areas subject to felling. The method of automated virtual marking of growing trees is fundamentally different from the known methods. Marking is carried out in the process of preparation of the cutting area for felling by remote methods. The fixup of the obtained data about each specific tree and its exact geographical location in the corporate information system is also an innovative method. The technology of automated management of accounting processes, the virtual tree marking method in the cutting area, the method of automatic boring of actual production in the harvest site are developed. The proposed method and a set of soft hardware of information linking of obtained data with the databases of the enterprise and transactions with it provide a complete record-keeping of exploited forest resources and control of timber movements with the use of technical means.

Keywords: inventory of stand, virtual tree marking, blazing, algorithm, Earth's remote sensing, computerization, automation, management.

REFERENCES

1. Kazakov N.V., Krivosheeva R.N. *Agregat dlya lesopol'zovaniya* [The Forest Management Unit]. Patent RF, no. 153577, 2015.
2. Simonenkov M.V., Salminen E.O., Bacherikov I.V. *Sposob monitoringa peremeshcheniya i avtomaticheskogo kontrolya legal'nosti zagotovki kruglykh lesomaterialov v tsepi postavok* [A Method for Transferring and Automatic Control Monitoring of the Legality of Round Timber Harvesting in the Chain of Custody]. Patent RF, no. 2589325, 2016.
3. Ryabukhin P.B., Kovalev A.P., Kazakov N.V., Lutsenko E.V. *Lesozagotovki na Dal'nem Vostoke – sostoyanie i perspektivy: monogr.* [Logging in the Far East – the Current State and Trends]. Khabarovsk, Dal'NIILKh Publ., 2010. 283 p. (In Russ.)
4. Sannikov S.P., Gerts E.F., D'yachkova A.A. *Metodologiya distantsionnogo monitoringa drevostoev i transportnykh potokov drevesiny* [Methodology of Remote Monitoring of Forest Stands and Transport Wood Flows]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2016, no. 3(351), pp. 109–116.
5. Kazakov N.V., Krivosheeva R.N. *Programmnyy kompleks dlya informatsionno-upravlyayushchey sistemy lesozagotovitel'nogo predpriyatiya* [A Software Package for the Information Management System of the Logging Enterprise]. Certificate of Registration of a Computer Program, no. 2016617425, 2016.
6. Avery T.E., Burkhart H.E. *Forest Measurements*. New York, USA, McGraw-Hill Book Company, 2002. 456 p.
7. Ko C., Sohn G., Rimmel T.K. Tree Genera Classification with Geometric Features from High-Density Airborne LiDAR. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 2013, no. 39, pp. S73–S85.
8. Maguire D.J., Goodchild M.F., Batty M., eds. *GIS, Spatial Analysis, and Modeling*. Redlands, California, USA, Esri Press, 2005. 480 p.
9. Saraikin V.G., Kazakov N.V., Hongzhen Zhan. Mathematical Models of Principal Felling Characteristics on Cutting Areas in the Far East. *Journal of Northeast Forestry University*, 1989, vol. 7, no. 5, pp. 95–100.

Received on April 21, 2017



МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 674.812

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.110

**ВЛИЯНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ДЛИНЫ ФИЛЬЕРЫ МАТРИЦЫ
НА ДАВЛЕНИЕ ПРЕССОВАНИЯ ТЕРМОМОДИФИЦИРОВАННОЙ
БЕРЕЗОВОЙ КОРЫ В ПРЕСС-ГРАНУЛЯТОРАХ ВАЛКОВОГО ТИПА**

О.Д. Мюллер, д-р техн. наук, проф.

В.И. Мелехов, д-р техн. наук, проф.

Н.Г. Пономарева, асп.

Т.В. Тюрикова, канд. техн. наук, доц.

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

Процесс получения гранулированного биотоплива из термомодифицированной массы на пресс-грануляторах валкового типа является перспективным методом утилизации древесных отходов березовой коры. Плотность гранул из коры – важный показатель, их высокого качества. Получение качественных гранул из термомодифицированной коры березы зависит от давления прессования, которое напрямую связано с относительной длиной фильеры матрицы и физико-механическими свойствами исходного сырья, в первую очередь с коэффициентами трения и адгезии спрессованной древесной гранулы с цилиндрической поверхностью фильеры матрицы в пресс-грануляторах валкового типа. В настоящее время практически отсутствуют данные о коэффициентах адгезии и трения для термомодифицированной древесной коры, что не позволяет определить давление, развиваемое прессовочными валками в процессе прессования древесных гранул. На основании разработанной математической модели для расчета давления прессования в цилиндрической фильере матрицы коэффициенты трения и адгезии были объединены в коэффициент α , что позволило создать стенд и разработать методику его экспериментального определения. Проведенные исследования по получению гранул из термомодифицированной березовой коры показали, что обобщающий коэффициент α является функцией исходной влажности термомодифицированного сырья и давления прессования. Статистическая обработка экспериментальных результатов позволила получить уравнение регрессии для определения коэффициента α .

Для цитирования: Мюллер О.Д., Мелехов В.И., Пономарева Н.Г., Тюрикова Т.В. Влияние относительной длины фильеры матрицы на давление прессования термомодифицированной березовой коры в пресс-грануляторах валкового типа // Лесн. журн. 2017. № 5. С. 110–118. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.110

Ключевые слова: гранулирование, термомодифицированная, березовая кора, мелкодисперсная масса, пресс-гранулятор, пеллеты, давление прессования.

Введение

В России и в мировой практике для производства древесного биотоплива из отходов лесозаготовительного производства и лесоперерабатывающей промышленности широкое распространение получил технологический процесс прессования древесных гранул в пресс-грануляторах валкового типа с цилиндрической или плоской матрицей. Наиболее важным показателем, обеспечивающим высокое качество древесных гранул из березовой коры, является их плотность, которая характеризует энергетические затраты на производство. При этом давление, развиваемое в процессе прессования гранул, определяется сопротивлением продвижению спрессованной массы термомодифицированной березовой коры через фильеры матрицы пресс-гранулятора.

Ряд зарубежных и отечественных исследователей [1, 4–10] установили, что давление проталкивания спрессованной древесной массы через фильеры матрицы зависит от относительной длины фильеры, а эта зависимость имеет экспоненциальный характер.

Цель настоящей статьи – предложить математическую зависимость, позволяющую расчетным путем определять давление прессования, развиваемое при гранулировании термомодифицированной березовой коры, в зависимости от относительной длины фильеры матрицы и исходной влажности сырья.

Объекты и методы исследования

Экспериментальными исследованиями установлено, что развиваемое при производстве древесных гранул давление для используемых матриц пресс-грануляторов значительно выше, чем определяемое по принятой математической модели, а зависимость давления прессования от относительной длины фильеры матрицы в диапазоне рабочих давлений пресс-грануляторов валкового типа носит линейный характер [2]. Несоответствие полученных экспериментальных данных математической модели прессования можно объяснить тем, что для вывода принятой модели прессования рассматривался процесс сжатия древесной гранулы в цилиндрической фильере матрицы. В действительности процесс уплотнения мелкодисперсной древесной массы в пресс-грануляторах валкового типа заканчивается на входе в фильеру. Последующее формирование из спрессованной мелкодисперсной березовой коры гранулы происходит за счет ее пластических деформаций при входе в фильеру. Движение спрессованной гранулы из термомодифицированной березовой коры через фильеру происходит в условиях упругого деформирования. При определении сил, действующих на цилиндрической поверхности спрессованной гранулы, необходимо также учитывать силы адгезии между поверхностью гранулы из коры березы и цилиндрической поверхностью фильеры.

Выполненный математический анализ процесса прессования гранул из термомодифицированной коры березы на основе теории упругопластического деформирования мелкодисперсной среды при указанных условиях [3] с учетом сил адгезии позволил получить новое уравнение для определения давления проталкивания (выталкивания):

$$P_{\text{выт}} = 4 \frac{(\mu + \nu)L}{d} \frac{E}{(1 + \lambda)} \frac{\left(\frac{D}{d} - 1\right) \left(\frac{D^2}{d^2} - 1\right)}{\left(1 - 2\lambda + \frac{D^2}{d^2}\right)}, \quad (1)$$

где μ – коэффициент трения спрессованной древесной гранулы о стенки фильеры;

ν – коэффициент, учитывающий силы адгезии;

L – длина фильеры;

d – диаметр фильеры;

E – модуль Юнга спрессованной древесной гранулы;

λ – коэффициент Пуассона для спрессованной древесной гранулы;

D – наружный диаметр древесной гранулы после выхода из фильеры матрицы.

Введем обозначение $\alpha = 4 \frac{(\mu + \nu)}{(1 + \lambda)}$ и преобразуем уравнение (1):

$$P_{\text{выт}} = \alpha E \frac{L}{d} \frac{\left(\frac{D}{d} - 1\right) \left(\frac{D^2}{d^2} - 1\right)}{\left(1 - 2\lambda + \frac{D^2}{d^2}\right)}. \quad (2)$$

Коэффициент пропорциональности α , учитывающий коэффициент Пуассона, силы трения и поверхностной адгезии, является функцией физических характеристик исходного и спрессованного древесного сырья (влажности, породы дерева, фракционного состава, температуры).

Для экспериментальных исследований по проверке полученной математической модели прессования гранул и определения коэффициента α для термомодифицированной березовой коры была изготовлена пресс-форма диаметром 40 мм и длиной 50 мм, в которой была выполнена сквозная одиночная фильера диаметром 8 мм, и три плунжера наружным диаметром 8 мм и длиной 20, 30 и 55 мм (рис. 1).



Рис. 1. Плунжеры и пресс-форма для прессования гранул из термомодифицированной древесной коры

Эксперименты проводили на испытательном стенде (рис. 2), состоящем из универсальной испытательной машины серии AG-X Plus («Shimadzu») с нагрузочной ячейкой SFL-50KNAG, которая обеспечивала максимальную нагрузку до 50 кН и класс точности $\pm 0,5\%$.

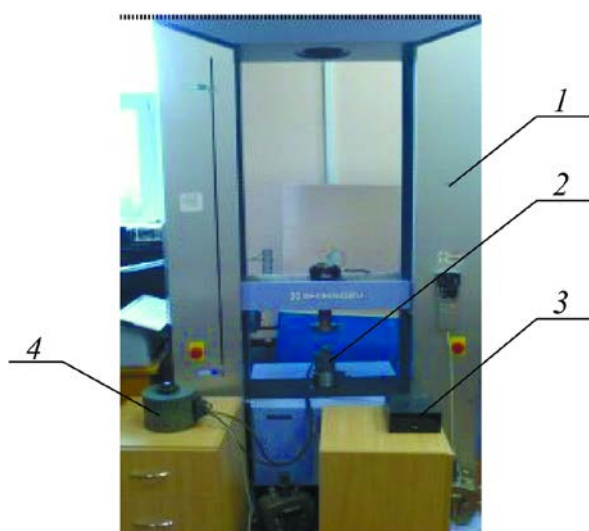


Рис. 2. Стенд для прессования гранул из термомодифицированной коры березы: 1 – испытательная машина с нагрузочной ячейкой; 2 – пресс-форма; 3 – контроллер температуры пресс-формы; 4 – линейный автотрансформатор

Перед прессованием древесной гранулы в фильеру матрицы вставляли упорный плунжер диаметром 8 мм и длиной 5 мм, затем с помощью автотрансформатора осуществляли электронагрев пресс-формы до заданной температуры, которую во время эксперимента поддерживали постоянной. В фильеру пресс-формы засыпали порцию исходного материала – мелкодисперсной древесной коры березы, после чего в испытательной машине ее прессовали соответствующим плунжером. По достижении заранее определенной силы прессование прекращали, плунжер удаляли, а в фильеру пресс-формы добавляли следующую порцию исходного материала, после чего процесс повторяли. После получения гранулы требуемой длины пресс-форму со спрессованной гранулой из коры березы устанавливали на опорную плиту с центральным отверстием, которое обеспечивало свободный выход спрессованной гранулы длиной до 40 мм. В свободное отверстие фильеры вставляли плунжер, после чего на стенде осуществляли выталкивание спрессованной гранулы из фильеры. Во время удаления гранулы из фильеры измеряли прикладываемую силу и ход плунжера. График, отражающий связь между силой, развиваемой плунжером, и его ходом в матрице, представлен на рис. 3.

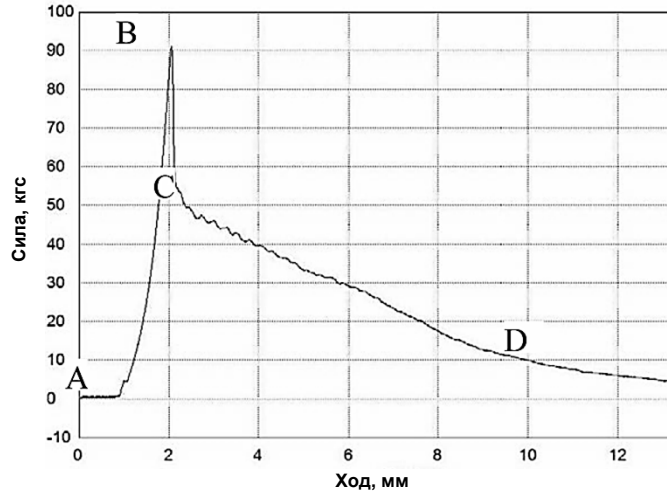


Рис. 3. Зависимость силы, развиваемой плунжером, от его хода в матрице (материал – термомодифицированная березовая кора, давление прессования $P_{\text{пресс}} = 20$ МПа)

Результаты исследования и их обсуждение

Из приведенного на рис. 3 графика видно, что процесс выталкивания гранулы термомодифицированной коры березы состоит из трех участков: А–В – выбор неплотностей и повышение давления на гранулу, развиваемого приложенной силой, до давления, которое обеспечивает начало движения спрессованной гранулы в фильере матрицы; В–С – начало движения и разгон гранулы до скорости движения плунжера; С–D – выталкивание гранулы из фильеры.

В ходе экспериментов были получены зависимости силы, прикладываемой плунжером к спрессованной при давлении $P_{\text{пресс}}$ грануле, от его перемещения в матрице при выталкивании гранул из фильеры.

На графиках зависимости «давление–длина гранулы» (рис. 4), характеризующих ход выталкивания из фильеры спрессованной при давлении $P_{\text{пресс}}$

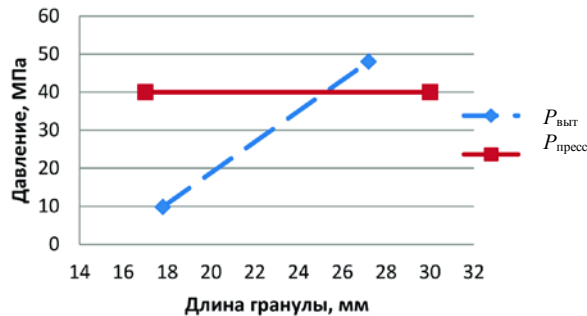


Рис. 4. Определение давления проталкивания

древесной гранулы длиной L_0 , находили прямолинейный участок С–D и для точек С и D определяли длину гранулы в фильере (L_C и L_D) и давление проталкивания (P_C и P_D). Так как в пресс-грануляторах движение гранулы начинается, когда давление прессования $P_{\text{пресс}}$ становится равным давлению проталкивания $P_{\text{выт}}$, строили графики $P_{\text{пресс}} = \text{const}$ и $P_{\text{выт}} = f(L_{\text{гр}})$.

По точке пересечения прямых устанавливали искомую длину гранулы $L_{\text{гр}} = L_D - L_C$ и равную ей длину фильеры L , при которой $P_{\text{пресс}} = P_{\text{выт}}$. Зная $P_{\text{выт}}$ и соответствующую ему $L_{\text{гр}}$, с помощью уравнения (2) находили коэффициент пропорциональности:

$$\alpha = \frac{P_{\text{выт}}}{E} \frac{d}{L_{\text{гр}}} \frac{\left(1 - 2\lambda + \frac{D^2}{d^2}\right)}{\left(\frac{D}{d} - 1\right) \left(\frac{D^2}{d^2} - 1\right)}. \quad (3)$$

Чтобы определить коэффициент α для мелкодисперсной термомодифицированной березовой коры, выполнили серию экспериментов, в которых влажность исходного сырья W изменялась в диапазоне 10...30 %, давление прессования $P_{\text{пресс}} = 20...60$ МПа (рис. 5).

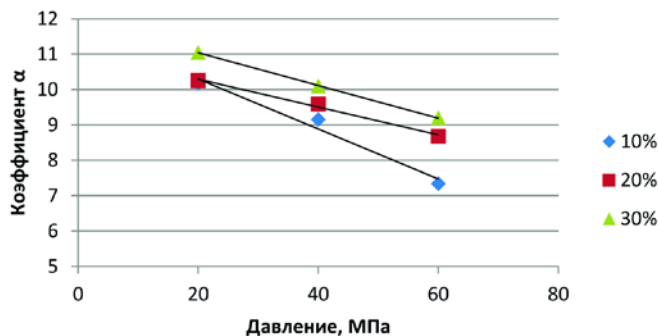


Рис. 5. Зависимость коэффициента пропорциональности α для термомодифицированной березовой коры от давления прессования $P_{\text{пресс}}$ при различной влажности исходного сырья

В результате математической обработки [2] результатов экспериментальных исследований процесса прессования термомодифицированной древесной коры получено следующее уравнение регрессии для нахождения коэффициента α :

$$\alpha = 11,37 - 0,082P_{\text{выт}} + 0,021W + 0,00115P_{\text{выт}}W, \quad (4)$$

а после подстановки (4) в (2) и преобразования – уравнение для определения давления $P_{\text{пресс}}$ при прессовании термомодифицированной древесной коры различной влажности W через фильеру диаметром d :

$$P_{\text{выт}} = \frac{E \frac{L}{d} (11,37 + 0,021W) \left(\frac{D}{d} - 1\right) \left(\frac{D^2}{d^2} - 1\right)}{E \frac{L}{d} (0,082 - 0,00115W) \left(\frac{D}{d} - 1\right) \left(\frac{D^2}{d^2} - 1\right) + \left(1 - 2\lambda + \frac{D^2}{d^2}\right)}, \quad (5)$$

где L – толщина матрицы.

Заключение

На основании результатов, полученных при исследовании процесса формирования гранул из термомодифицированной коры березы, предложена математическая зависимость, позволяющая определять давление, развиваемое при прессовании гранул в пресс-грануляторах валкового типа.

При этом установлено, что давление прессования зависит от относительной длины фильеры матрицы L/d , модуля упругости E и исходной влажности W спрессованной термомодифицированной коры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булатов И.А. Разработка процесса прессового гранулирования мелкодисперсных сред на примере минеральных порошков и древесных отходов: автореф. ... канд. техн. наук. М., 2012. – 19 с.
2. Богданович Н.И., Кузнецова Л.Н., Третьяков С.И., Жабин В.И. Планирование эксперимента в примерах и расчетах: учеб. пособие. Архангельск: САФУ, 2010. 126 с.
3. Попов А.Н., Любов В.К., Мюллер О.Д., Попова Е.И. Математическая модель и процесс производства древесного гранулированного топлива // Химия твердого топлива. 2016. № 2. С. 38–45.
4. Hodolic J., Vukelic Dj., Agarski B., Hudjik C. Briquetting of Biomass and Environmental Engineering // Proc. Quality Festival 2007-2. Conference about Quality of Life. Kragujevac, 2007. Pp. 8–11. ISBN 85-86663-09-5.
5. Holm J.K., Henriksen U.B., Hustad J.E., Sørensen L.S. Toward an Understanding of Controlling Parameters in Softwood and Hardwood Pellets Production // Energy and Fuels. 2006. No. 20(6). Pp. 2686–2694.
6. Krizan P., Matus M., Kers J., Vukelic Dj. Change of Pressing Chamber Conicalness at Briquetting Process in Briquetting Machine Pressing Chamber // Acta Polytechnica. 2012. Vol. 52, no. 3. Pp. 60–65.
7. Krizan P., Šoos L., Matus M., Svatek M., Vukelic Dj. Evaluation of Measured Data from Research of Parameters Impact on Final Briquettes Density // Aplimat – Journal of Applied Mathematics. 2010. Vol. 3, no. 3. Pp. 69–76.
8. Krizan P., Vukelic Dj. Shape of Pressing Chamber for Wood Biomass Compacting // International Journal for Quality Research. 2008. Vol. 2, no. 3. Pp. 193–197.
9. Matus M., Krizan P. Modularity of Pressing Tools for Screw Press Producing Solid Biofuels // Acta Polytechnica. 2012. Vol. 52, no. 3. Pp. 71–76.
10. Myuller O.D., Melekhov V.I., Malygin V.I. Elastoplastic Deformation of Fine-Grain Media // Russian Engineering Research. 2015. Vol. 35, iss. 12. Pp. 911–918.

Поступила 25.03.17

UDC 674.812

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.110

Influence of the Relative Length of the Matrix Drawplate on the Compacting Pressure of Thermally-Modified Birch Bark in the Roller Press-Granulators

O.D. Myuller, Doctor of Engineering Sciences, Professor

V.I. Melekhov, Doctor of Engineering Sciences, Professor

N.G. Ponomareva, Postgraduate Student

T.V. Tyurikova, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

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

The process of obtaining of granulated biofuel from thermally-modified woodpulp by roller press granulators is a promising method for utilization of birch bark refuse wood. Density of bark pellets is an important indicator, of their high quality. The production of qualitative pellets from thermally-modified birch bark depends on the compacting pressure, which is directly associated with the relative length of the matrix drawplate and feedstock physical and mechanical properties, primarily with the friction and adhesion coefficients of the pressed wood pellet with the cylindrical surface of the matrix drawplate in the roller press granulators. At present, there are practically no data on the adhesion and friction coefficients for thermally-modified tree bark, which does not allow us to determine the pressure developed by the pressing rolls during the wood pellets pressing. Based on the developed mathematical model for calculating the compacting pressure in the cylindrical matrix drawplate, we combined the friction and adhesion coefficients into a factor α , which made it possible to create a stand and develop a technique for its experimental determination. The researches on obtaining granules from thermally-modified birch bark demonstrate that the generalizing coefficient α is a function of initial moisture content of thermally-modified raw material and compacting pressure. The statistical processing of the experimental results made it possible to obtain a regression equation for the determining coefficient α .

Keywords: granulation, thermally-modified, birch bark, fine mass, press-granulator, pellet, compacting pressure.

REFERENCES

1. Bulatov I.A. *Razrabotka protsessa pressovogo granulirovaniya melkodispersnykh sred na primere mineral'nykh poroshkov i drevesnykh otkhodov: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk* [Development of a Granulation Technology for Small-Grain Media for the Example of Mineral Powder and Wood Waste: Cand. Eng. Sci. Diss. Abs.]. Moscow, 2012. 19 p.

For citation: Myuller O.D., Melekhov V.I., Ponomareva N.G., Tyurikova T.V. Influence of the Relative Length of the Matrix Drawplate on the Compacting Pressure of Thermally-Modified Birch Bark in the Roller Press-Granulators. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 5, pp. 110–118. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.110

2. Bogdanovich N.I., Kuznetsova L.N., Tret'yakov S.I., Zhabin V.I. *Planirovanie eksperimenta v primerakh i raschetakh: ucheb. posobie* [Design of Experiments in Examples and Calculations]. Arkhangelsk, SAFU Publ., 2010. 126 p. (In Russ.)
3. Popov A.N., Lyubov V.K., Myuller O.D., Popova E.I. Matematicheskaya model' i protsess proizvodstva drevesnogo granulirovannogo topliva [Mathematical Model and Process for Production of Granulated Fuel Wood]. *Khimiya tverdogo topliva* [Solid Fuel Chemistry], 2016, no. 2, pp. 38–45.
4. Hodolic J., Vukelic Dj., Agarski B., Hudjik C. Briquetting of Biomass and Environmental Engineering. *Proc. Quality Festival 2007-2. Conference about Quality of Life*. Kragujevac, 2007, pp. 8–11, ISBN 85-86663-09-5.
5. Holm J.K., Henriksen U.B., Hustad J.E., Sørensen L.S. Toward an Understanding of Controlling Parameters in Softwood and Hardwood Pellets Production. *Energy and Fuels*, 2006, no. 20(6), pp. 2686–2694.
6. Krizan P., Matus M., Kers J., Vukelic Dj. Change of Pressing Chamber Conicalness at Briquetting Process in Briquetting Machine Pressing Chamber. *Acta Polytechnica*, 2012, vol. 52, no. 3, pp. 60–65.
7. Krizan P., Šoos L., Matus M., Svatek M., Vukelic Dj. Evaluation of Measured Data from Research of Parameters Impact on Final Briquettes Density. *Aplimat – Journal of Applied Mathematics*, 2010, vol. 3, no. 3, pp. 69–76.
8. Krizan P., Vukelic Dj. Shape of Pressing Chamber for Wood Biomass Compacting. *International Journal for Quality Research*, 2008, vol. 2, no. 3, pp. 193–197.
9. Matus M., Krizan P. Modularity of Pressing Tools for Screw Press Producing Solid Biofuels. *Acta Polytechnica*, 2012, vol. 52, no. 3, pp. 71–76.
10. Myuller O.D., Melekhov V.I., Malygin V.I. Elastoplastic Deformation of Fine-Grain Media. *Russian Engineering Research*, 2015, vol. 35, iss. 12, pp. 911–918.

Received on March 25, 2017

УДК 624.072.2.011.1

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.119

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
СИСТЕМ ПЕРЕКРЕСТНЫХ БАЛОК ИЗ ДЕРЕВЯННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
НА КВАДРАТНОМ ПЛАНЕ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ
ДИНАМИЧЕСКИХ И СТАТИЧЕСКИХ НАГРУЗОК**

А.В. Турков, д-р техн. наук, зав. каф.

В.И. Коробко, д-р техн. наук, проф. каф.

А.А. Макаров, аспирант

Приокский государственный университет, Наугорское шоссе, д. 29, г. Орел, Россия, 302020; e-mail: vikor10@mail.ru, aturkov@bk.ru, mak_ar@inbox.ru

Рассмотрены результаты экспериментального изучения системы перекрестных балок из деревянных элементов на квадратном плане при изменении жесткости узловых соединений. Определена фактическая податливость узловых соединений по результатам экспериментально-теоретических исследований. В ходе эксперимента проведены статистические и динамические испытания, в результате которых получены максимальный прогиб и частота собственных колебаний системы. Установлено, что при уменьшении жесткости узлового соединения максимальный прогиб увеличивается, частота собственных колебаний системы снижается. Сопоставлены теоретические и экспериментальные данные: экспериментальные прогибы и частоты больше полученных расчетным путем. Разница между экспериментальными и теоретическими прогибами достигает 7,54 %, по частотам собственных колебаний – 0,69 %. Основанием для подобных расхождений являлось то обстоятельство, что за счет высокой степени податливости узлов системы ее деформирование при высоких уровнях нагрузки происходит в нелинейной области. Разница между теоретическими и экспериментальными значениями коэффициента, связывающего частоту основного тона собственных поперечных колебаний, распределенную по площади массу конструкции и максимальный прогиб при действии равномерно распределенной нагрузки, достигает 7,97 %. На основании исследования можно сделать вывод о достаточно хорошей сходимости значений численных и экспериментальных прогибов и частот собственных колебаний, а также о применимости этого экспериментального коэффициента для систем перекрестных балок.

Ключевые слова: система перекрестных балок, испытательный стенд, динамические испытания, статические испытания, модуль упругости, частота собственных колебаний, максимальный прогиб.

Для цитирования: Турков А.В., Коробко В.И., Макаров А.А. Экспериментальные исследования систем перекрестных балок из деревянных элементов на квадратном плане при изменении динамических и статических нагрузок // Лесн. журн. 2017. № 5. С. 119–126. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.119

Введение

Системы перекрестных балок (СПБ) являются одними из самых эффективных деревянных пространственных конструкций. Исследованиями СПБ занимались такие крупные ученые, как Э.Н. Байда [1], В.А. Игнатьев [2], Б.Н. Кутуков [7], Е.И. Светозарова и Б.В. Лабудин [8–12], Л.Н. Лубо [13], А. Yettram и Н. Husain [18], W. Martin [16], P. Mase [17] и др. Вопросам взаимосвязи максимальных прогибов и частот собственных колебаний балок и пластинок посвящены работы В.И. Коробко, А.В. Туркова и К.В. Марфина [3–6, 15], для СПБ выполнены исследования А.В. Туркова и А.А. Макарова [14].

Цель данного исследования – получение экспериментальных статических и динамических параметров СПБ и сопоставление их с численными данными для оценки применимости формулы В.И. Коробко к СПБ на квадратном плане.

Объекты и методы исследования

Статические и динамические испытания системы перекрестных балок проводили на специальном стенде (рис. 1).

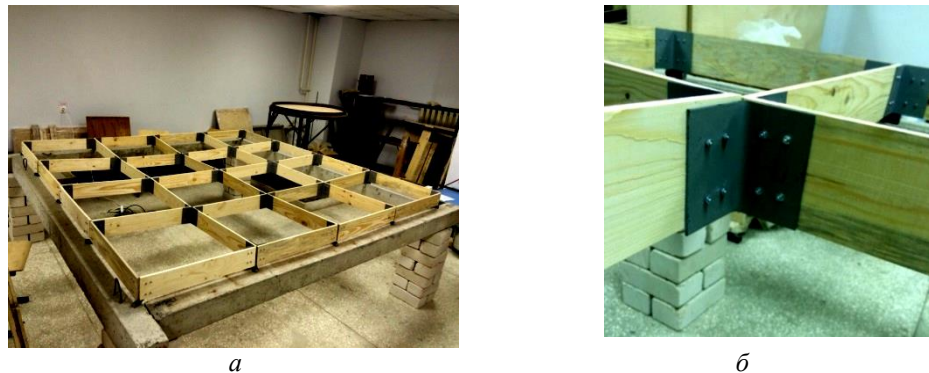


Рис. 1. Конструкция СПБ (а) и узел крепления элементов СПБ (б)

Стенд представляет собой пространственную конструкцию, состоящую из вертикальных опор, сложенных из кирпича и установленных по ее углам. По кирпичным опорам сверху уложены железобетонные балки сечением 120×130 мм, на которые СПБ в контурных узлах опирается через стальные цилиндрические стержни диаметром 20 мм и длиной 50 мм. Сама система выполнена из деревянных элементов цельного сечения 10×100 мм длиной 590 мм, которые в узлах соединяются с помощью стальных гнутых уголков из листа толщиной 1 мм на болтах М6. Размер СПБ в плане – 2400×2400 мм, размер ячейки – 600×600 мм.

Вначале экспериментально определяли фактическую податливость узловых соединений. Элементы СПБ моделировали стержнями со вставками на концах [15], которые в свою очередь характеризовали податливость узловых соединений. По результатам расчетов и экспериментальным прогибам и частотам колебаний определяли фактическую податливость узлов при креплении элементов нагелями (болтами), для 4 болтов – $EI_{вс}/EI_{эл} = 0,0033$, для 2 болтов – $EI_{вс}/EI_{эл} = 0,0013$ (здесь $EI_{вс}$ и $EI_{эл}$ – соответственно изгибная жесткость вставки и деревянного элемента СПБ).

Для определения прогиба СПБ нагружали статической сосредоточенной нагрузкой во всех узлах (кроме опорных) пятью (1–5) ступенями. Вес каждой ступени в пересчете на равномерно распределенную нагрузку $15,625 \text{ Н/м}^2$. После снятия показаний (по индикатору) от максимальной нагрузки, которая составляла $78,125 \text{ Н/м}^2$, СПБ разгружали и после 15 мин «отдыха» снова загружали. Для каждого типа СПБ испытания проводили не менее 3 раз до получения стабильных значений экспериментальных прогибов (в табл. 1).

Таблица 1

**Экспериментальный максимальный прогиб (мм)
СПБ при различной податливости узловых соединений**

Ступень	Нагрузка, Н/м^2	Максимальный прогиб при количестве болтов в узле, шт.	
		4	2
1	15,625	0,35	3,88
2	31,25	2,77	7,58
3	46,875	4,18	10,21
4	62,50	5,80	14,37
5	78,125	7,49	18,90

После каждого этапа статических испытаний опытную конструкцию разгружали и давали ей «отдыхать» в течение 15...20 мин, после чего проводили динамические испытания, в ходе которых определяли основные круговые частоты собственных поперечных колебаний СПБ в зависимости от податливости узловых соединений. Измерение основных частот колебаний выполняли на виброанализаторе «ВИБРАН-2.0». Датчик закрепляли снизу, в центральном узле СПБ, колебания возбуждали путем удара сверху резиновой киянкой по центральному узлу конструкции. Для каждого типа СПБ динамические испытания проводили не менее 3 раз до стабильных значений экспериментальных круговых частот колебаний.

Характерные виброграммы, полученные в ходе эксперимента, представлены на рис. 2, результаты измерения частот колебаний – в табл. 2.

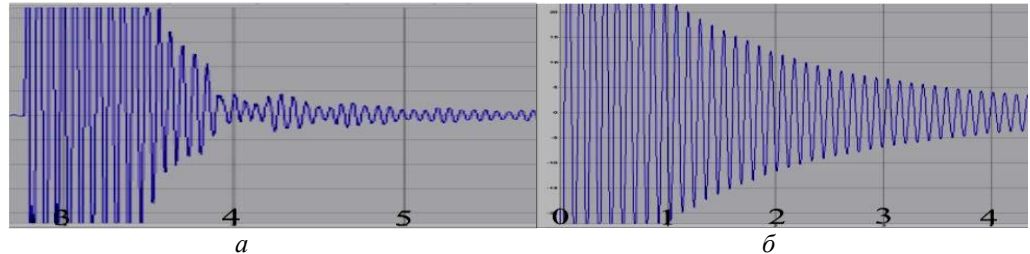


Рис. 2. Характерные виброграммы собственных колебаний СПБ: *a* – 4 болта в узле; *б* – 2 болта в узле

Таблица 2

Экспериментальная частота собственных колебаний (c^{-1}) СПБ при различной жесткости крепления узловых соединений

Показатель	Значение показателя при количестве болтов в узле, шт.	
	4	2
Частота f	14,00	9,00
Круговая частота, ω	87,92	56,52

Результаты исследования и их обсуждение

При сопоставлении результатов экспериментальных и численных исследований критерием точности является коэффициент K , связывающий частоту ω основного тона собственных поперечных колебаний СПБ, распределенную по площади массу конструкции m и максимальный прогиб W_0 при действии равномерно распределенной нагрузки q в формуле В.И. Коробко [3]:

$$W_0 \omega^2 = K \frac{q}{m}.$$

Для квадратных пластин с шарнирно опертым контуром $K = 1,582$.

Анализ полученных данных показал, что экспериментальные прогибы и частоты собственных колебаний больше численных (аналитических). Для СПБ при креплении узла на 4 болтах разница между экспериментальными и численными значениями прогибов составляла 1,87 %, на 2 болтах – 7,54 %, между частотами – соответственно 0,09 и 0,69 %. Для коэффициента K расхождение между аналитическими и экспериментальными данными – соответственно 1,98 и 7,97 %.

Основной причиной расхождения экспериментальных и численных значений прогибов и частот поперечных колебаний являлось то обстоятельство, что за счет высокой степени податливости узлов деформации СПБ при высоких уровнях нагрузки происходили в нелинейной области.

Заключение

На основании проведенного исследования можно сделать вывод о достаточно хорошей сходимости значений численных и экспериментальных прогибов и частот собственных колебаний, а также о соответствии экспериментального коэффициента K его аналитическим значениям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Байда Э.Н., Лабудин Б.В.* Об одном методе расчета регулярных ортогональных перекрестных систем // Конструкции из клееной древесины и пластмасс. Л.: ЛИСИ, 1978. С. 36–40.
2. *Игнатьев В.А.* Расчет регулярных стержневых систем. Саратов: Сарат. ун-т, 1973. 433 с.
3. *Коробко В.И.* Об одной «замечательной» закономерности в теории упругих пластинок // Строительство и архитектура. 1989. № 11. С. 32–36. (Изв. высш. учеб. заведений).
4. *Коробко В.И., Турков А.В.* Поперечные колебания и прогибы однопролетных балок, укрепленных в пролете упругими опорами // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2007. № 1. С. 53–55.
5. *Коробко В.И., Турков А.В.* Способ определения жесткости вертикального стыка составной балки // Лесн. журн. 2010. № 1. С. 88–92. (Изв. высш. учеб. заведений).
6. *Коробко В.И., Турков А.В., Бояркина О.В.* Закономерности поперечного изгиба и свободных колебаний упругих балок и пластинок // Строительная механика и расчет сооружений. 2006. № 4. С. 64–69.
7. *Кутуков В.Н.* Некоторые задачи статического и динамического расчета регулярных систем // Расчет пространственных конструкций. Вып. 4. М.: Стройиздат, 1958. С. 225–238.
8. *Лабудин Б.В.* Влияние некоторых факторов на материалоемкость перекрестно-балочных конструкций из клееных деревянных элементов // Исследование конструкций из клееной древесины и пластмасс. 1977. № 1. С. 89–93.
9. *Лабудин Б.В.* К вопросу о расчете перекрестных балок из сборных клееных деревянных элементов с учетом податливости узлов // Конструкции из клееной древесины и пластмасс: межвуз. сб. Л.: ЛИСИ, 1979. С. 65–71.
10. *Лабудин Б.В.* Расчет перекрестных систем с использованием матрицы жесткости коробчатого элемента на упруго-податливых связях // Конструкции из клееной древесины и пластмасс: межвуз. сб. Л.: ЛИСИ, 1980. С. 8–11.
11. *Лабудин Б.В.* Расчет плитно-ребристых конструкций с упруго-податливыми связями // Лесн. журн. 1992. № 1. С. 67–72. (Изв. высш. учеб. заведений).
12. *Лабудин Б.В., Светозарова Е.И.* Пространственные перекрестно-балочные покрытия из клееных деревянных элементов // Исследование конструкций из клееной древесины и пластмасс. 1977. № 1. С. 41–47.
13. *Лубо Л.Н., Миронков Б.А.* Плиты регулярной пространственной структуры. Л.: Стройиздат, 1976. 126 с.
14. *Турков А.В., Макаров А.А.* Прогибы и частоты собственных колебаний систем перекрестных балок на квадратном плане с учетом податливости узловых соединений // Строительство и реконструкция. 2013. № 1. С. 33–36.
15. *Турков А.В., Марфин К.В.* Исследование прогибов и частот собственных колебаний составных круглых трансформных пластин // Лесн. журн. 2013. № 4. С. 66–71. (Изв. высш. учеб. заведений).
16. *Martin W.* Berechnung einer Fachwerkplatte // Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule für Bauwesen Leipzig. 1966. Heft 4.

17. *Mase P.* Analysis of Building Grid Floare // Journal of the Institution of Engineers (India): Civil Engineering Division. 1960. Vol. 41, no. 7. Part 4.

18. *Yettram A.L., Husain H.M.* The Representation of a Plate in Flexure by a Grid of Orthogonally Connected Beams // International Journal of Mechanical Sciences. 1965. Vol. 7, iss. 4. Pp. 243–251.

Поступила 24.02.17

UDC 624.072.2.011.1

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.119

The Experimental Studies of Cross-Beam Systems of Wood Members on a Square Plan when Dynamic and Static Load Variation

A.V. Turkov, Doctor of Engineering Sciences, Head of Department

V.I. Korobko, Doctor of Engineering Sciences, Professor

A.A. Makarov, Postgraduate Student

Prioksky State University, Naugorskoe sh., 29, Orel, 302020, Russian Federation;

e-mail: vikor10@mail.ru, aturkov@bk.ru, mak_ar@inbox.ru

The paper presents the results of experimental studies of the cross-beam system of wood members on a square plan with a change in the rigidity of node connections. We determine the actual compliance of node connections by the results of the experimental and theoretical studies. In the experiment, statistic and dynamic tests are performed, and the maximum deflection and free frequency of the system are obtained. The maximum deflection increases, free frequency of the system decreases when the stiffness of the node connection decreases. We compare the theoretical and experimental data: the experimental deflections and frequencies are greater than the parameters, obtained by means of a calculation. The difference between the experimental and theoretical deflections is 7.54 %, and 0.69 % is in terms of free frequency. The reason for such discrepancies is the fact that the system deformation at high load levels occurs in the nonlinear region due to the high degree of compliance of the system nodes. The difference between theoretical and experimental data reaches 7.97 % for the coefficient connecting base frequency of free transverse vibrations, mass of the structure distributed over the area and the maximum deflection under the action of an evenly distributed load. Based on the study, we can conclude about fine precision of numerical and experimental deflections and free frequencies, and about the applicability of this experimental coefficient for cross-beam systems.

Keywords: cross-beam system, testing stand, dynamic test, static test, elasticity modulus, free frequency, maximum deflection.

For citation: Turkov A.V., Korobko V.I., Makarov A.A. The Experimental Studies of Cross-Beam Systems of Wood Members on a Square Plan when Dynamic and Static Load Variation. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 5, pp. 119–126. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.119

REFERENCES

1. Bayda E.N., Labudin B.V. Ob odnom metode rascheta regulyarnykh ortogonal'nykh perekrestnykh sistem [On a Method for Calculating Regular Orthogonal Cross Systems]. *Konstruktsii iz kleenoy drevesiny i plastmass* [Structures of Glued Wood and Plastics]. Leningrad, Leningrad Engineering and Construction Institute Publ., 1978, pp. 36–40. (In Russ.)
2. Ignat'ev V.A. *Raschet regulyarnykh sterzhnevyykh sistem* [Calculation of Regular Frame Structures]. Saratov, Saratov Higher Military School Publ., 1973. 433 p. (In Russ.)
3. Korobko V.I. Ob odnoy “zamechatel'noy” zakonomernosti v teorii uprugikh plastinok [On a “Remarkable” Regularity in the Theory of Elastic Plates]. *Stroitel'stvo i arkhitektura*, 1989, no. 11, pp. 32–36.
4. Korobko V.I., Turkov A.V. Poperechnye kolebaniya i progiby odnooproletnykh balok, podkreplennykh v prolete uprugimi oporami [Transverse Oscillations and Deflections of Single Beams Reinforced by Elastic Supports in the Span]. *Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruksiy i sooruzheniy* [Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings], 2007, no. 1, pp. 53–55.
5. Korobko V.I., Turkov A.V. Sposob opredeleniya zhestkosti vertikal'nogo styka sostavnoy balki [Method for Determining Vertical Joint Stiffness of Composite Beam]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2010, no. 1, pp. 88–92.
6. Korobko V.I., Turkov A.V., Boyarkina O.V. Zakonomernosti poperechnogo izgiba i svobodnykh kolebaniy uprugikh balok i plastinok [Regularities of Transverse Bending and Free Oscillations of Elastic Beams and Plates]. *Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruksiy i sooruzheniy* [Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings], 2006, no. 4, pp. 64–69.
7. Kutukov V.N. Nekotorye zadachi staticheskogo i dinamicheskogo rascheta regulyarnykh sistem [Some Problems of Static and Dynamic Calculation of Regular Systems]. *Raschet prostranstvennykh konstruksiy. Vyp. 4* [Space Structures Analysis. Iss. 4]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1958, pp. 225–238. (In Russ.)
8. Labudin B.V. Vliyanie nekotorykh faktorov na materialoemkost' perekrestno-balochnykh konstruksiy iz kleenykh derevyannykh elementov [Influence of Some Factors on the Material Intensity of Two-Way Beam Structures Made of Glued Wood]. *Issledovanie konstruksiy iz kleenoy drevesiny i plastmass* [Investigation of Structures Made of Glued Wood and Plastics], 1977, no. 1, pp. 89–93.
9. Labudin B.V. K voprosu o raschete perekrestnykh balok iz sbornykh kleenykh derevyannykh elementov s uchetom podatlivosti uzlov [On the Calculation of Two-Way Beams from Precast Glued Wood Units, Taking into Account the Joint Mobility]. *Konstruktsii iz kleenoy drevesiny i plastmass* [Structures of Glued Wood and Plastics]. Leningrad, Leningrad Engineering and Construction Institute Publ., 1979, pp. 65–71. (In Russ.)
10. Labudin B.V. Raschet perekrestnykh sistem s ispol'zovaniem matritsy zhestkosti korobchatogo elementa na uprugo-podatlivykh svyazyakh [Calculation of Cross Systems Using the Stiffness Matrix of a Box-Shaped Element on Elastic-Compliant Constraints]. *Konstruktsii iz kleenoy drevesiny i plastmass* [Structures of Glued Wood and Plastics]. Leningrad, Leningrad Engineering and Construction Institute Publ., 1980, pp. 8–11. (In Russ.)
11. Labudin B.V. Raschet plitno-rebristykh konstruksiy s uprugo-podatlivymi svyazyami [Calculation of Slab and Ribbed Structures with Elastic-Compliant Constraints]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 1992, no. 1, pp. 67–72.

12. Labudin B.V., Svetozarova E.I. Prostranstvennye perekrestno-balochnye pokrytiya iz kleenykh derevyannykh elementov [Spatial Two-Way Beam Roofs Made of Glued Wood]. *Issledovanie konstruksiy iz kleenoy drevesiny i plastmass* [Investigation of Structures Made of Glued Wood and Plastics], 1977, no. 1, pp. 41–47.
13. Lubo L.N., Mironkov B.A. *Plity regulyarnoy prostranstvennoy struktury* [Plates of Regular Spatial Structure]. Leningrad, Stroyizdat Publ., 1976. 126 p. (In Russ.)
14. Turkov A.V., Makarov A.A. Progiby i chastoty sobstvennykh kolebaniy sistem perekrestnykh balok na kvadratnom plane s uchedom podatlivosti uzlovykh soedineniy [Deflections and Frequencies of Own Fluctuations of Systems Cross Beams on the Square Plan Taking into Account Pliability of Nodal Connections]. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya* [Building and Reconstruction], 2013, no. 1, pp. 33–36.
15. Turkov A.V., Marfin K.V. Issledovanie progibov i chastot sobstvennykh kolebaniy sostavnykh kruglykh transtropnykh plastin [Study of Deflection and Natural Vibration Frequencies of Composite Circular Transtropic Plates]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2013, no. 4, pp. 66–71.
16. Martin W. Berechnung einer Fachwerkplatte. *Wissenschaftliche Zeitschrift der Hochschule fur Bauwesen Leipzig*, 1966, Heft 4.
17. Mase P. Analysis of Building Grid Floare. *Journal of the Institution of Engineers (India): Civil Engineering Division*, 1960, vol. 41, no. 7, part 4.
18. Yettram A.L., Husain H.M. The Representation of a Plate in Flexure by a Grid of Orthogonally Connected Beams. *International Journal of Mechanical Sciences*, 1965, vol. 7, iss. 4, pp. 243–251.

Received on February 24, 2017

УДК 674.028.9

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.127

ВЛИЯНИЕ ПОСТОЯННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ВЛАГОСТОЙКОСТЬ И ПРОЧНОСТЬ ФАНЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

А.Ф. Замилова, асп.

М.Ф. Галиханов, д-р техн. наук, проф.

Н.А. Пестова, магистр

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
ул. Карла Маркса, д. 68, г. Казань, Россия, 420015; e-mail: Alinka-attractive@yandex.ru,
mgalikhanov@yandex.ru, pestovanata@mail.ru

В статье приведены результаты исследования влияния постоянного электрического поля на влагостойкие и адгезионные свойства фанерных материалов. Получены электретные характеристики фанерных материалов из различных пород древесины и клеев. Выявлено, что поляризация фанеры в процессе приготовления или поляризация только клея в постоянном электрическом поле позволяют значительно повысить ее прочностные свойства (прочность сцепления соединения «клей–шпон»). Установлено, что при предварительной поляризации клея предел прочности при скалывании возрастает на 15...350 %; при поляризации фанерных образцов в процессе их изготовления предел прочности при скалывании увеличивается на 15...450 % по сравнению с образцами, на которые не воздействовало электрическое поле. Отмечено, что наибольшие значения предела прочности при скалывании имеют фанерные материалы из березового шпона, который обладает более высокими показателями прочности древесного волокна. Фанерные образцы, поляризуемые в постоянном электрическом поле, более стойки к расслоению, короблению, дольше сохраняют свою целостность во влажной среде. Безусловно, это связано с влиянием поляризованного состояния клея на адгезию к шпону. Воздействие электрического поля повышает влагостойкость фанерных образцов на 0,9...22,0 %, водостойкость – на 3,0...17,0 %. Предлагаемый метод представляет практический интерес и может быть реализован в условиях производства для получения высокопрочной влагостойкой фанеры.

Ключевые слова: фанера, поляризация, карбамидоформальдегидная смола, эпоксидная смола, поливинилацетат, прочность, постоянное электрическое поле, влагопоглощение, водопоглощение.

Для цитирования: Замилова А.Ф., Галиханов М.Ф., Пестова Н.А. Влияние постоянного электрического поля на влагостойкость и прочность фанерных материалов // Лесн. журн. 2017. № 5. С. 127–138. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.127

Введение

Клееная слоистая древесина в настоящее время составляет значительную долю среди готовой продукции деревоперерабатывающих предприятий [1, 3, 7, 17]. Одним из показателей качества фанерных материалов является их механическая прочность, которая определяется силой адгезии соединения «шпон–клей» [9, 14, 17]. Повышения прочности фанерных материалов можно достичь многими способами: модифицированием существующих технологий склеивания древесины, совершенствованием состава уже существующих смол, разработкой новых клеев с различными добавками [2, 18, 20]. Однако используемые в настоящее время способы и средства повышения качества фанеры не всегда удовлетворяют современным требованиям, предъявляемым к подобным материалам. В этих условиях на первый план выходят методы повышения адгезионной прочности клееной древесины, предполагающие использование интенсивных технологий, например воздействие электрическими и магнитными полями, ультразвуком и др. [5, 8, 9, 12–14, 16–21].

Авторы работ [8, 16] исследовали повышение прочности клеевых соединений древесины под воздействием электрического поля. Для этого они использовали образцы из дуба и березы и карбамидоформальдегидный клей, который предварительно обрабатывали в течение 15 мин электрическим полем напряженностью $E = 0 \dots 2000$ В/см; затем в обработанный клей добавляли отвердитель и производили склеивание. Результаты исследований показали, что воздействие электрического поля на полимерный компонент клея позволяет получить более прочную клееную древесину.

В работе [5] приведены данные по влиянию постоянного электрического поля на гигроскопические свойства фанеры. Было показано, что поляризация фанеры незначительно снижает водо- и влагопоглощение материала.

Цель настоящей работы – исследование воздействия постоянного электрического поля в процессе изготовления фанерных материалов на их сорбционные и прочностные свойства.

Объекты и методы исследования

Объекты исследования – шпон различных пород древесины (береза, орех, эвкалипт, ясень) – ГОСТ 99–96 «Шпон лущеный. Технические условия»; смола карбамидоформальдегидная марки КФ-Ж – ГОСТ 14231–88 «Смолы карбамидоформальдегидные. Технические условия»; поливинилацетатный клей марки ПВА-М – ТУ 2385-002-54824507–04; эпоксидная смола марки ЭД-20 – ГОСТ 10587–84 «Смолы эпоксидно-диановые неотвержденные. Технические условия»; отвердители: хлористый аммоний для карбамидоформальдегидных смол – ГОСТ 2210–73 «Аммоний хлористый технический. Технические условия»; марки Л-20 для эпоксидных смол – ТУ 6-06-1123–98.

Образцы изготавливали с использованием разных технологий.

Первая технология (ПФ – *поляризация фанеры*) заключалась в следующем. Фанерные образцы с жидким (неотвержденным) клеевым слоем устанавливались в поляризующую ячейку, которая в свою очередь являлась и прессом, создающим давление до 0,5 МПа (см. рисунок).

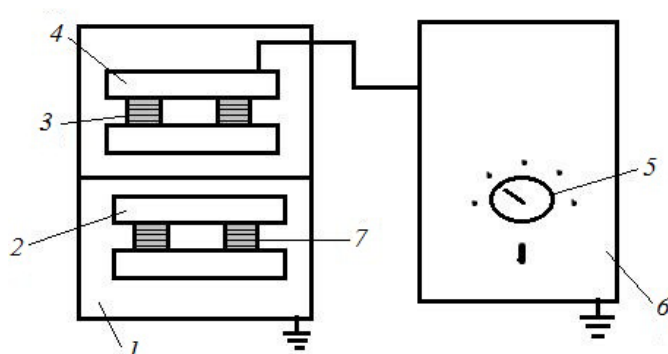


Схема отверждающей и поляризующей установки:
 1 – термошкаф; 2 – отверждающая ячейка; 3 – поляризуемые образцы, 4 – отверждающая и поляризующая ячейка; 5 – регулятор подаваемого генератором напряжения; 6 – генератор высокого напряжения; 7 – контрольные образцы

Ячейку помещали в термошкаф, нагретый до температуры 60...120 °С (в зависимости от вида используемого клея). Поляризацию фанерных образцов с одновременным отверждением клея осуществляли в постоянном электрическом поле с напряжением на электродах 10 кВ в течение 20...40 мин (в зависимости от вида используемого клея).

По второй технологии (ПК – *поляризация клея*) поляризации подвергали только клей до его применения для приготовления фанерных образцов. Для этого стеклянную емкость (чашку Петри) с клеем помещали на 10 мин между поляризующими электродами ячейки при напряжении на электродах 10 кВ и комнатной температуре. При необходимости добавляли отвердитель и осуществляли склеивание фанерных образцов без дальнейшего приложения постоянного электрического поля.

Третья технология (БП – *без поляризации*) предполагала приготовление образцов при тех же температурных и временных режимах, но поляризацию клея и фанеры не проводили (см. рисунок).

Предел прочности при скалывании $\tau_{ск}$ по клеевому слою определяли по ГОСТ 9624–2009 «Древесина слоистая клееная. Метод определения предела прочности при скалывании». Для проведения испытаний на скалывание изготавливали фанерные образцы, состоящие из 5 слоев шпона и 4 слоев клея (в случае березы) или 7 слоев шпона и 6 слоев клея (в случае ореха, эвкалипта, ясеня). Шпон нарезали на заготовки размерами 95×40 мм. Каждый лист шпо-

на соединяли соседними при соблюдении условия перпендикулярного направления волокон.

Испытания проводили на разрывной машине Т-42, соответствующей ГОСТ 28840–90 «Машины для испытания материалов на растяжение, сжатие и изгиб. Общие технические требования».

Косвенно о прочности адгезионного соединения «шпон–клей» судили по внешнему виду фанерных образцов, испытываемых на водо- (ГОСТ 16483.20–72 «Древесина. Метод определения водопоглощения») и влагопоглощение (ГОСТ 16483.19–72 «Древесина. Метод определения влагопоглощения»).

Электретные характеристики готовых фанерных образцов (потенциал поверхности ($V_{эф}$, кВ); напряженность электрического поля (E , кВ/м); эффективная поверхностная плотность заряда ($\sigma_{эф}$, мкКл/м²) измеряли с помощью измерителя параметров электростатического поля ИПЭП-1 на расстоянии 2 см от поверхности образца.

Результаты исследования и их обсуждение

Основным прочностным показателем фанерных материалов, показывающим прочность именно адгезионного сцепления «шпон–клей», является предел прочности при скалывании по клеевому слою. Для испытаний были выбраны наиболее часто используемые в производстве фанеры виды шпона из березы, ореха, эвкалипта и ясеня и карбамидоформальдегидной смолы, обладающей следующими преимуществами [6, 7]:

- высокая адгезионная способность;
- сниженное содержание свободного формальдегида (по сравнению с фенолформальдегидными смолами);
- бесцветный клеевой шов, улучшающий эстетические качества фанерной продукции;
- высокая скорость отверждения;
- возможность сборки пакета без предварительной сушки шпона, что уменьшает затраты на производство и количество производственных операций;
- высокие диэлектрические свойства;
- низкая стоимость.

Однако для производства клееной древесины часто используют и другие адгезивы (эпоксидные, поливинилацетатные). Поэтому в качестве модельных объектов готовили фанерные образцы и на их основе.

Средние значения (по 5 образцам) пределов прочности при скалывании по клеевому слою 4 образцов фанерных материалов различного состава приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Прочность фанерных образцов шпона различного состава,
изготовленных по разным технологиям**

Клей + шпон	Предел прочности при скалывании, МПа		
	ПФ	ПК	БП
Карбамидоформальдегидная смола (температура отверждения – 120 °С, время отверждения – 20 мин):			
береза	3,3	3,0	1,4
орех	1,6	1,1	0,9
эвкалипт	2,0	1,4	0,9
ясень	3,3	2,8	1,7
Эпоксидная смола (температура отверждения – 120 °С, время отверждения – 40 мин):			
береза	4,3	4,1	2,1
орех	3,4	2,9	2,1
эвкалипт	2,9	2,1	1,3
ясень	2,9	2,4	1,4
Поливинилацетатный клей (температура отверждения – 60 °С, время отверждения – 20 мин):			
береза	3,0	3,2	2,9
орех	2,2	2,2	1,6
эвкалипт	1,1	0,9	0,2
ясень	1,3	1,3	1,1

Как видно из табл. 1, наибольшими значениями предела прочности при скалывании обладают фанерные материалы на основе березового шпона. Это объясняется более высокими механическими показателями прочности древесного волокна березы. Сравнение фанерных образцов показало, что предварительная поляризация клея (ПК) в постоянном электрическом поле повышает прочность фанерных материалов на 15...350 %. Лучшие результаты получены для фанерных материалов на основе березового шпона, худшие – из орехового шпона.

Повышение прочности фанерных материалов за счет воздействия постоянного электрического поля можно объяснить структурными изменениями в полимерной матрице клеев, происходящими под энергетическим воздействием. Поляризация приводит к интенсивному упорядочиванию в расположении макромолекул полимера, сближению их между собой [11, 15], формированию новых молекулярных связей в виде сшивок макромолекул [10].

В работе [8] указывается, что обработка карбамидоформальдегидного слоя в электрическом поле значительно снижает его вязкость. Это способствует более глубокому проникновению клея в древесину, более полному

смачиванию и лучшему растеканию его по поверхности древесины и, как следствие, повышению адгезионной прочности клеевого соединения.

При использовании поляризации (электретирования) в процессе приготовления образцов получаемые фанерные материалы еще больше упрочняются: их предел прочности при скалывании на 15...450 % выше, чем у контрольных. В данном случае скорее всего происходит комплексное воздействие постоянного электрического поля как на полимерный компонент фанеры – клей, так и на древесину шпона. Подобное явление отмечено авторами [12] при использовании обработки магнитным полем неотвержденной клеевой прослойки между поверхностями древесины.

В работе [4] показано, что при поляризации изменяется структура полимерных материалов. Ориентация макромолекул, сопровождающаяся упорядочиванием отдельных структурных элементов полимера, ведет к упрочнению материала. Этот факт может иметь место и в изучаемых фанерных образцах.

Для того, чтобы узнать происходит ли электретирование при отверждении клея в процессе обработки фанеры в постоянном электрическом поле, были измерены электретные характеристики сразу после изготовления образцов и через 20 сут (табл. 2).

Таблица 2

**Электретные характеристики фанерных образцов
различного состава**

Шпон + клей	$V_{эф}$, В	E , В/м	$\sigma_{эф}$, мкКл/м ²
Береза + КФ-Ж	48,0/1,0	2861/20	0,025/0,001
Береза + ПВА-М	44,0/1,0	2413/44	0,020/0,001
Береза + ЭД-20	123,0/50,0	6761/2185	0,055/0,020
Орех + КФ-Ж	197,0/3,3	12 800/163	0,131/0,002
Орех + ПВА-М	173,0/1,5	8400/20	0,082/0,001
Орех + ЭД-20	77,0/25,0	4244/1435	0,034/0,010
Эвкалипт + КФ-Ж	191,0/2,0	9500/57	0,088/0,002
Эвкалипт + ПВА-М	114,0/1,0	5900/100	0,052/0,002
Эвкалипт + ЭД-20	76,0/15,0	4772/1100	0,040/0,010
Ясень + КФ-Ж	55,0/1,0	3389/45	0,030/0,001
Ясень + ПВА-М	51,0/1,0	2825/25	0,026/0,001
Ясень + ЭД-20	81,0/10,0	4488/105	0,040/0,002

Примечание. В числителе приведены данные на момент изготовления, в знаменателе – через 20 сут хранения.

Данные табл. 2 иллюстрируют, что на всех фанерных образцах регистрируется электрическое поле, т. е. клеи находятся в поляризованном (электретном) состоянии. Электретные характеристики, снятые через 20 сут хранения у готовых фанерных образцов на основе эпоксидной смолы, показывают более высокие значения $V_{эф}$, E и $\sigma_{эф}$, чем с другими клеями. Это свя-

зано с лучшими электретыми характеристиками эпоксидных полимеров по сравнению с поливинилацетатом или карбамидоформальдегидной смолой.

В работе [4] повышение прочности древесных композиционных материалов на основе эпоксидных смол объясняется тем, что в ее структуре под действием электрического поля происходит образование сильных ОН...ОН связей и увеличение количества С–О–С групп. Это свидетельствует о развитии процесса сшивания через более простую эфирную связь наряду со сшиванием через аминогруппу.

Наилучший эффект повышения прочности при поляризации отмечен для фанеры на основе шпона эвкалипта, что можно объяснить тем, что из всех представленных пород он обладает наименьшими плотностью и удельным объемным электрическим сопротивлением, что благоприятствует обработке фанеры в электрическом поле и лучшему упорядочиванию, сближению молекул клея.

Из изучаемых фанерных образцов лучшими прочностными характеристиками обладают эвкалиптовая фанера на основе ПВА-М и березовая фанера на основе КФ-Ж, полученные по технологии ПФ.

Известно, что в условиях повышенной влажности фанерные материалы расслаиваются. Повышение адгезионного взаимодействия «шпон–клей» должно препятствовать этому процессу. Поэтому на следующем этапе работы полученные фанерные материалы были испытаны на водо- и влагопоглощение с контролем их внешнего вида.

Влияние постоянного электрического поля на сорбционные характеристики (водо- и влагопоглощение) фанерных образцов через 25 сут после изготовления представлено в табл. 3.

Таблица 3

Результаты испытания на водо- и влагопоглощение (%) фанерных образцов, изготовленных по разным технологиям

Шпон + клей	Водопоглощение		Влагопоглощение	
	ПФ	БП	ПФ	БП
Береза + КФ-Ж	117,0	120,0	18,0	20,0
Береза + ЭД-20	74,8	78,2	21,0	24,8
Береза + ПВА-М	114,0	122,0	20,1	22,0
Орех + КФ-Ж	61,4	70,7	13,0	16,0
Орех + ЭД-20	29,6	31,5	15,4	17,7
Орех + ПВА-М	74,0	81,8	7,7	9,0
Эвкалипт + КФ-Ж	62,7	69,2	13,0	16,0
Эвкалипт + ЭД-20	43,9	56,9	22,4	24,1
Эвкалипт + ПВА-М	48,8	50,1	6,2	7,1
Ясень + КФ-Ж	76,2	80,1	45,8	57,2
Ясень + ЭД-20	39,8	57,0	10,9	18,0
Ясень + ПВА-М	97,0	108,0	31,0	53,0

Необходимо отметить, что у фанеры на основе КФ-Ж и ПВА-М набухание больше, чем на основе ЭД-20, что может быть связано с набуханием самого клея. Судя по полученным данным, разница в набухании поляризованных и неполяризованных (контрольных) образцов незначительна. Это связано с быстрой релаксацией поляризованного состояния фанеры в условиях полного погружения в воду.

При проведении испытаний наблюдались коробление и расслаивание фанерных образцов, не обработанных в электрическом поле. При этом фанерные образцы, в процессе приготовления которых применялось постоянное электрическое поле (технология ПФ), практически не изменили своего первоначального внешнего вида, что также может служить косвенным признаком повышенной адгезии между шпоном и клеем.

Заключение

Таким образом, использование постоянного электрического поля в процессе приготовления фанерных материалов позволяет значительно повысить их адгезионные свойства (прочность сцепления соединения «клей–шпон»). Фанерные образцы, поляризуемые в постоянном электрическом поле, более стойки к расслоению, короблению, лучше сохраняют свою целостность во влажных средах.

Предлагаемый метод получения фанерных материалов представляет практический интерес и может быть реализован в условиях производства для выпуска высокопрочной влагостойкой фанеры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васечкин Ю.В. Технология и оборудование для производства фанеры: учеб. для д/техн-в. М.: Лесн. пром-сть, 1983. 310 с.
2. Вертячих И.М., Гольдаде В.А., Неверов А.С., Пинчук Л.С. Влияние электрического поля полимерного электрета на сорбцию паров органического растворителя // Высокомолекулярные соединения Сер. Б. 1982. Т. 24, № 9. С. 683–687.
3. Волынский В.Н. Технология клееных материалов: учеб.-справ. пособие. М.: Профи, 2009. 392 с.
4. Воронежцев Ю.И., Гольдаде В.А., Пинчук Л.С., Снежков В.В. Электрические и магнитные поля в технологии полимерных композитов / под ред. А.И. Свириденка. Минск: Наука и техника, 1990. 263 с.
5. Замилова А.Ф., Салдаева О.С., Галиханов М.Ф. Влияние поляризации фанеры в процессе приготовления на ее водо- и влагопоглощение // Вестн. техн. ун-та. 2015. Т. 18, № 13. С. 57–60.
6. Кириллов А.Н., Карасев Е.И. Технология фанерного производства: учеб. для д/техн-в. М.: Лесн. пром-сть, 1974. 312 с.
7. Куликов В.А., Чубов А.Б. Технология клееных материалов и плит: учеб. для вузов. М.: Лесн. пром-сть, 1984. 340 с.

8. *Мозговой Н.В.* Прочность клеевых соединений древесины на основе электрообработанных клеев // Науч. журн. КубГАУ. 2012. № 75. С. 484–493.
9. *Попов В.М., Иванов А.В.* Интенсивная технология получения клееной древесины повышенной прочности // Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 2007. № 4. С. 89–91.
10. *Попов В.М., Латынин А.В.* Метод создания клееной древесины повышенной прочности // Лесотехн. журн. 2015. № 4. С. 145–151.
11. *Попов В.М., Латынин А.В., Григорьев Д.С.* Интенсивная технология создания клеевых соединений повышенной прочности на основе полимерных клеев, подвергнутых совместному воздействию физических полей // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 4-4. С. 89–92.
12. *Попов В.М., Латынин А.В., Лушикова Е.Н.* Клеевые соединения древесины повышенной прочности на основе магнитообработанных клеев // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2013. № 5. С. 293–296.
13. *Попов В.М., Латынин А.В., Мозговой Н.В., Юдин Р.В.* Влияние магнитоультразвукового поля на качество клеевых соединений из древесины // Современные проблемы науки и образования: электрон. журн. 2013. № 5.
14. *Попов В.М., Новиков А.П.* К созданию клеевых соединений повышенной прочности // Современные инновации в науке и технике: сб. науч. тр. 4-й междунар. науч.-практ. конф. (17 апр. 2014): в 4 т. Курск, 2014. Т. 3. С. 332–334.
15. *Попов В.М., Новиков А.П., Иванов А.В.* Влияние магнитной обработки полимерных клеев на прочность клеевых соединений на их основе // Механика композиционных материалов и конструкций. 2012. Т. 18, № 3. С. 414–421.
16. *Попов В.М., Шендриков М.А., Иванов А.В., Жабин А.В.* Влияние магнитного и электрического полей на прочность клееной древесины // Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 2009. № 4. С. 122–126.
17. *Фрейдин А.С., Вуба К.Т.* Прогнозирование свойств клеевых соединений древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 224 с.
18. *Шамаев В.А., Разиньков Е.М., Ищенко Т.Л.* Исследование склеивания фанеры с применением нанокристаллической целлюлозы // Лесотехн. журн. 2014. № 1. С. 151–155.
19. *Zhang M.X., Huang J.W., Wang N.Y.* Modification of Pine-Wood/Formaldehyde-Urea Resin Composites Using Electron-Beam Radiation // Applied Mechanics and Materials. 2014. Vol. 454. Pp. 187–189.
20. *Park B.-D., Kim J.-W.* Dynamic Mechanical Analysis of Urea-Formaldehyde Resin Adhesives with Different Formaldehyde-to-Urea Molar Ratios // Journal of Applied Polymer Science. 2008. Vol. 108. Pp. 2045–2051.
21. *Zamilova A.F., Galikhanov M.F.* Influence of Polarization of the Walnut Plywood in the Process of Preparation on Its Water and Moisture Absorption // AIP Conference Proceedings. 2016. Vol. 1767. 020038.

Поступила 22.05.17

UDC 674.028.9

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.127

Influence of the DC Field on Moisture Resistance and Strength of the Plywood Materials

A.F. Zamilova, *Postgraduate Student*

M.F. Galikhanov, *Doctor of Engineering Sciences, Professor*

N.A. Pestova, *Master*

Kazan National Research Technological University, ul. Karla Marksa, 68, Kazan, 420015, Russian Federation; e-mail: Alinka-attractive@yandex.ru, mgalikhanov@yandex.ru, pestovanata@mail.ru

The article presents data on the influence of the DC field on the moisture resistance and adhesion properties of plywood materials. We have obtained the values of electret characteristics of plywood materials from different types of wood and adhesives. The polarization of plywood in the preparation process or the polarization of only glue in the DC field can significantly increase its strength properties (adhesion strength of the glue-veneer joint). The shear strength increases by 15...350 % at the preliminary polarization of the adhesive; the shear strength increases by 15...450 % when the plywood samples are polarized in the process of their manufacture, compared to the samples that are not subjected to the electric field. The plywood materials from birch veneer possess the greatest values of the shear strength, as this kind of veneer has higher strength factors of wood fiber. The plywood samples polarized in the DC field are more resistant to delamination, creasing, and retain its integrity longer in a humid environment. This is due to the influence of the polarized state of glue on the adhesion to veneer. The effect of the electric field on plywood samples increases the moisture resistance by 0.9...22.0 %, and the water resistance value – by 3.0...17.0 %. The proposed method is of practical interest and can be realized industrially to produce high-density moisture-proof plywood.

Keywords: plywood, polarization, urea formaldehyde resin, epoxide resin, polyvinyl acetate, strength, DC field, moisture absorption, water absorption ability.

REFERENCES

1. Vasechkin Yu.V. *Tekhnologiya i oborudovanie dlya proizvodstva fanery*: [Technology and Equipment for the Production of Plywood. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1983. 310 p. (In Russ.)
2. Vertyachikh I.M., Gol'dade V.A., Neverov A.S., Pinchuk L.S. Vliyanie elektricheskogo polya polimernogo elektreta na sorbtsiyu parov organicheskogo rastvoritelya [Impact of Electric Field of Polymer Electret to the Organic Solvent Vapor Sorption]. *Vysokomolekulyarnye soedineniya. Ser. B* [Polymer Science. Ser. B], 1982, vol. 24, no. 9, pp. 683–687.

For citation: Zamilova A.F., Galikhanov M.F., Pestova N.A. Influence of the DC Field on Moisture Resistance and Strength of the Plywood Materials. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 5, pp. 127–138. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.127

3. Volynskiy V.N. *Tekhnologiya kleenykh materialov* [Technology of Adhesive-Bonded Materials]. Moscow, Profi Publ., 2009. 392 p. (In Russ.)
4. Voronezhstsev Yu.I., Gol'dade V.A., Pinchuk L.S., Snezhkov V.V. *Elektricheskie i magnitnye polya v tekhnologii polimernykh kompozitov* [Electric and Magnetic Fields in the Polymer Composites Technology]. Ed. by A.I. Sviridenok. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1990. 263 p. (In Russ.)
5. Zamilova A.F., Saldaeva O.S., Galikhanov M.F. Vliyanie polarizatsii fanery v protsesse prigotovleniya na ee vodo- i vlagopogloshchenie [The Influence of Polarization of Plywood in the Process of Preparation on Its Water and Moisture Absorption]. *Vestnik Kazanskogo Tekhnologicheskogo Universiteta* [Herald of Kazan Technological University], 2015, vol. 18, no. 13, pp. 57–60.
6. Kirillov A.N., Karasev E.I. *Tekhnologiya fanernogo proizvodstva* [Technology of Plywood Production]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1974. 312 p. (In Russ.)
7. Kulikov V.A., Chubov A.B. *Tekhnologiya kleenykh materialov i plit* [Technology of Adhesive-Bonded Materials and Plates]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1984. 340 p. (In Russ.)
8. Mozgovoy N.V. Prochnost' kleevykh soedineniy drevesiny na osnove elektroobrabotannykh klevov [Strength of Adhesive Joints of Wood on the Basis of Electrically Treated Glues]. *Nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyy zhurnal KubGAU)* [Scientific Journal of KubSAU], 2012, no. 75, pp. 484–493.
9. Popov V.M., Ivanov A.V. Intensivnaya tekhnologiya polucheniya klenoy drevesiny povyshennoy prochnosti [Intensive Technology for Production of High-Strength Laminated Wood]. *Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 2007, no. 4, pp. 89–91.
10. Popov V.M., Latynin A.V. Metod sozdaniya klenoy drevesiny povyshennoy prochnosti [Method for Creating of Laminated Wood of High Strength]. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Engineering Journal], 2015, vol. 5, no. 4, pp. 145–151.
11. Popov V.M., Latynin A.V., Grigor'ev D.S. Intensivnaya tekhnologiya sozdaniya kleevykh soedineniy povyshennoy prochnosti na osnove polimernykh klevov, podvergnutykh sovmestnomu vozdeystviyu fizicheskikh poлей [Intensive Technology for Creating High-Strength Adhesive Compounds Based on Polymer Adhesives Subjected to Joint Action of Physical Fields]. *Sovremennye tendentsii razvitiya nauki i tekhnologii*, 2016, no. 4-4, pp. 89–92.
12. Popov V.M., Latynin A.V., Lushnikova E.N. Kleevye soedineniya drevesiny povyshennoy prochnosti na osnove magnitnoobrabotannykh klevov [Adhesive Joints of High-Strength Wood on the Basis of Magnetically Treated Adhesives]. *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Analysis and Synthesis of Complex Systems in Nature and Technology], 2013, no. 5, pp. 293–296.
13. Popov V.M., Latynin A.V., Mozgovoy N.V., Yudin R.V. Vliyanie magnitoul'trazvukovogo polya na kachestvo kleevykh soedineniy iz drevesiny [Influence of Magnetic Ultra Sound Field on the Quality of Wood Adhesive Joints]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern Problems of Science and Education], 2013, no. 5, pp. 20–26.
14. Popov V.M., Novikov A.P. K sozdaniyu kleevykh soedineniy povyshennoy prochnosti [To the Creation of Adhesive Compounds of Increased Strength]. *Sovremennye innovatsii v nauke i tekhnike: sb. nauch. tr. 4-y mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Modern Innovations in Science and Technology: Proc. 4th Inter. Sci. Prac. Conf.], 2014, vol. 3, pp. 332–334.

15. Popov V.M., Novikov A.P., Ivanov A.V. Vliyanie magnitnoy obrabotki polimernykh kleev na prochnost' kleevykh soedineniy na ikh osnove [Influence of Magnetic Treatment of Polymer Adhesive on the Strength of Adhesive Compounds on Their Basis]. *Mekhanika kompozitsionnykh materialov i konstruksiy* [Mechanics of Composite Materials and Structures], 2012, vol. 18, no. 3, pp. 414–421.

16. Popov V.M., Shendrikov M.A., Ivanov A.V., Zhabin A.V. Vliyanie magnitnogo i elektricheskogo poley na prochnost' kleenoy drevesiny [Influence of Magnetic and Electric Fields on Glued Wood Strength]. *Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 2009, no. 4, pp. 122–126.

17. Freydin A.S., Vuba K.T. *Prognozirovanie svoystv kleevykh soedineniy drevesiny* [Forecasting the Properties of Glued Wood Compounds]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1980. 224 p. (In Russ.)

18. Shamaev V.A., Razin'kov E.M., Ishchenko T.L. Issledovanie skleivaniya fanery s primeneniem nanokristallicheskoj tsellyulozy [Study of Bonding Plywood Using Nanocrystalline Cellulose]. *Lesotekhnicheskiy zhurnal* [Forestry Engineering Journal], 2014, vol. 4, no. 1, pp. 151–155.

19. Zhang M.X., Huang J.W., Wang N.Y. Modification of Pine-Wood/Formaldehyde-Urea Resin Composites Using Electron-Beam Radiation. *Applied Mechanics and Materials*, 2014, vol. 454, pp. 187–189.

20. Park B.-D., Kim J.-W. Dynamic Mechanical Analysis of Urea-Formaldehyde Resin Adhesives with Different Formaldehyde-to-Urea Molar Ratios. *Journal of Applied Polymer Science*, 2008, vol. 108, pp. 2045–2051.

21. Zamilova A.F., Galikhanov M.F. Influence of Polarization of the Walnut Plywood in the Process of Preparation on Its Water and Moisture Absorption. *AIP Conference Proceedings*, 2016, vol. 1767, 020038.

Received on May 22, 2017



ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 674.8:66.04

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.139

ВАРИАНТЫ ПЕРЕРАБОТКИ НИЗКОСОРТНОЙ ДРЕВЕСИНЫ НА УГЛЕРОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Ю.Л. Юрьев¹, д-р техн. наук, проф.

И.К. Гиндулин¹, канд. техн. наук, доц.

Н.А. Дроздова², канд. техн. наук, ведущий эколог

¹Уральский государственный лесотехнический университет, Сибирский тракт, д. 37, г. Екатеринбург, Россия, 620100; e-mail: bluestones@mail.ru, tradeek@mail.ru

²Муниципальное унитарное предприятие жилищно-коммунального хозяйства «Сысертское», ул. Коммуны, д. 48, г. Сысерть, Свердловская область, Россия, 624022; e-mail: drozdova-na@mail.ru

Лесопокрытая площадь в наиболее обжитых районах Европейско-Уральской части Российской Федерации занята в основном низкосортной лиственной древесиной с преобладанием березы и осины. Пиролиз является традиционным способом переработки низкосортной древесины, получаемый при этом древесный уголь может быть эффективно использован в технологии других углеродных материалов. Разработанная нами структура системы получения углеродных материалов из древесины состоит из четырех подсистем: 1 – заготовка сырья, 2 – первичная обработка древесины, 3 – пиролиз древесины, 4 – переработка древесного угля. При заготовке и первичной обработке древесины энерго- и ресурсосбережение обеспечиваются за счет утилизации древесных отходов, при пиролизе – за счет применения тепла экзотермических реакций. Показано, что в условиях лесопромышленных предприятий отбор избыточного тепла возможен при использовании для производства древесного угля модульных пиролизных ретортных установок и подобных им аппаратов. При переработке древесного угля ресурсосбережение обеспечивается за счет направления его мелких фракций на брикетирование, а энергосбережение – при сжигании газов активации. В процессе получения активных углей наименьшую экологическую опасность представляет активация водяным паром. Окисление активного угля (по соображениям экологической безопасности) предлагается проводить в паровой фазе с использованием горячего влажного воздуха в качестве окислителя. При этом не образуется сточных вод. Анализ вариантов переработки низкосортной древесины показал, что разработанная нами технология получения углеродных материалов позволяет более чем в 3 раза увеличить стоимость продукции, производимой, например, из 1 м³ березовой древесины, повысить экономическую стабильность предприятий лесного комплекса, получить до четырех видов углеродных материалов (древесный уголь, древесно-

Для цитирования: Юрьев Ю.Л., Гиндулин И.К., Дроздова Н.А. Варианты переработки низкосортной древесины на углеродные материалы // Лесн. журн. 2017. № 5. С. 139–149. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.139

угольные брикеты, активные и окисленные угли), а также снизить экологическую опасность их производства за счет сжигания парогазовой смеси пиролиза древесины, применения водяного пара (на стадии получения активных углей) и воздуха (на стадии получения окисленного угля).

Ключевые слова: переработка низкосортной древесины, пиролиз, древесный уголь, активные угли, энергосбережение.

Введение

Лесопокрытая площадь в наиболее обжитых районах Европейско-Уральской части Российской Федерации занята в основном низкосортной лиственной древесиной, представленной березой и осиной. Эффективность переработки такого сырья недостаточна.

Традиционным способом переработки низкосортной стволовой древесины, сучьев, веток [22] и недревесного растительного сырья [17, 19] является пиролиз. Варианты его проведения разнообразны [5, 6, 14, 16, 21].

При объеме лесозаготовок 100 тыс. м³/год и породном составе сырьевой базы 4С2Е2Б2Ос (характерном для Среднего Урала) ресурсы отходов позволяют производить древесный уголь марок А, Б и В (соответственно из березы, осины и хвойных пород). Как минимум, из имеющихся отходов можно получить 3,7 тыс. т древесного угля (ДУ). Ситуация в лесном комплексе Свердловской области характеризуется тем, что практически вся осиновая древесина относится к неликвидной, а из продуктов переработки березы имеет сбыт только фанерный краж. В этом случае ресурсы древесины для производства ДУ возрастают и возможно получение 6,0 тыс. т ДУ, в том числе 35 % – марки В, 32 % – марки Б, 32 % – марки А [12].

В настоящее время предприятия ограничиваются производством ДУ, хотя вполне могут выпускать и другие углеродные материалы (УМ): древесноугольные брикеты (ДУБ), активные угли (АУ) и древесный окисленный уголь (ДОУ). Если образуется большое количество угольной мелочи, то есть смысл повысить эффективность производства за счет организации производства ДУБ. В качестве связующего материала предлагается использовать вещества, находящиеся в парогазовой смеси (ПГС) пиролиза [8, 9].

Наиболее перспективными продуктами переработки ДУ являются углеродные нанопористые материалы – ДОУ и АУ [4, 11].

Цель нашей работы – на основе анализа структуры системы получения УМ из древесины выявить наиболее эффективные варианты технологии.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования выступает разработанная и частично реализованная нами технология УМ, которая позволяет более чем в 3 раза увеличить стоимость продукции, производимой в настоящее время (например, из 1 м³ березовой древесины), и за счет этого повысить устойчивость предприятий лесного комплекса.

Структура системы получения УМ из древесины включает четыре подсистемы: 1 – заготовка сырья, 2 – первичная обработка древесины, 3 – пиролиз древесины, 4 – переработка ДУ. Материальные потоки подсистем показаны на рис. 1.

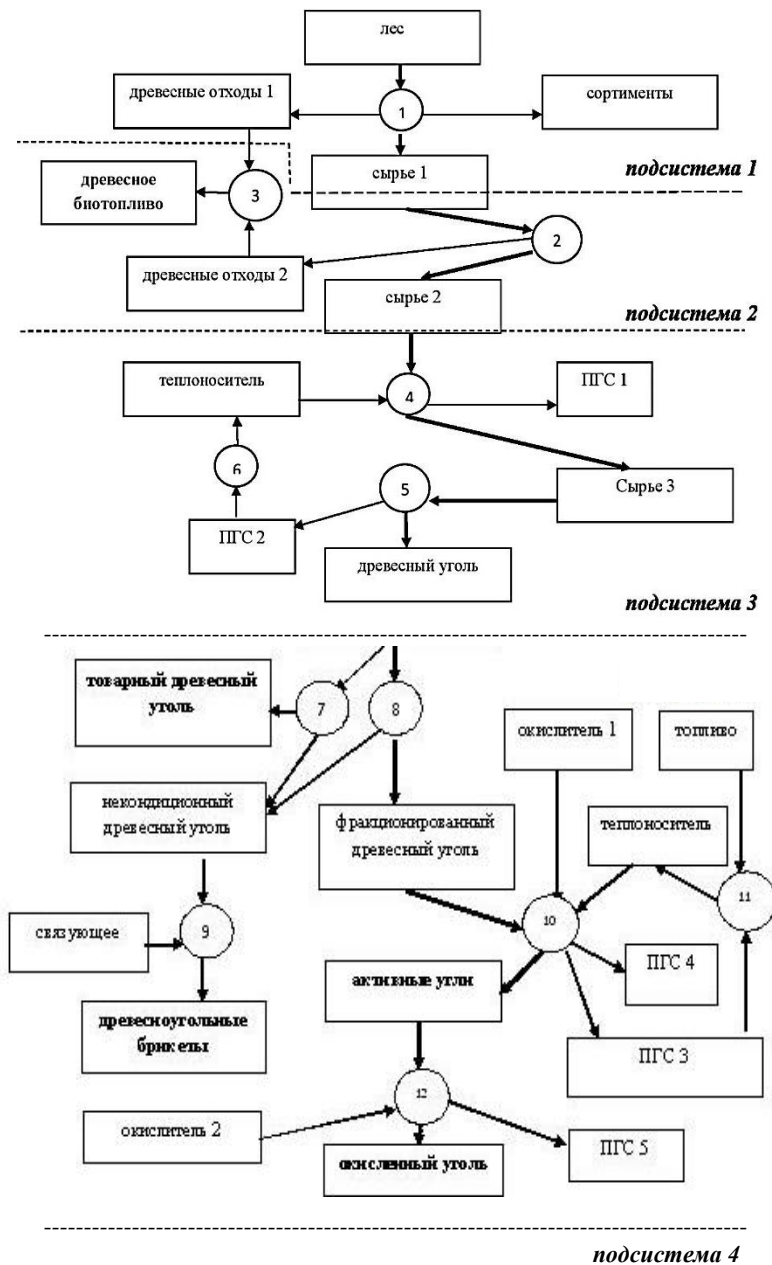


Рис. 1. Структура системы получения УМ на основе древесины

На рис. 1 обозначены:

позиции с 1 по 12 – операции соответственно валки, подготовки к пиролизу (расколка, распиловка), уплотнения древесных отходов, сушки, пиролиза, сжигания ПГС пиролиза, сортировки ДУ, дробления и сортировки ДУ, брикетирования, активации ДУ, сжигания газов активации, окисления АУ;

сырье 1 – стандартное сырье для пиролиза;

сырье 2 – распиленное и расколотое сырье для пиролиза;

сырье 3 – высушенное сырье для пиролиза;

древесные отходы 1 – отходы лесозаготовок (сучья, вершинник, фаутовая древесина и т.п.);

древесные отходы 2 – опилки;

ПГС 1 – парогазовая смесь после сушки древесины (в основном азот, углекислый газ и водяной пар);

ПГС 2 – парогазовая смесь, образующаяся при пиролизе древесины (более 200 индивидуальных веществ);

ПГС 3 – газы активации ДУ;

ПГС 4 – отработанный теплоноситель из установки активации;

ПГС 5 – отработанный воздух из установки окисления АУ;

окислитель 1 – вещество, используемое для активации ДУ;

окислитель 2 – вещество, используемое для окисления АУ (в данном случае – воздух).

Из рис. 1 следует, что энерго- и ресурсосбережение для подсистем 1 и 2 обеспечивается за счет утилизации древесных отходов, для подсистемы 3 – за счет использования тепла экзотермических реакций пиролиза древесины, для подсистемы 4 ресурсосбережение достигается при переработке мелких фракций ДУ на ДУБ, а энергосбережение – при сжигании газов активации.

Использованию избыточного тепла путем сжигания ПГС и направления тепла на собственные нужды постоянно уделяется внимание [17, 18]. Нами показано, что в условиях лесопромышленных предприятий отбор избыточного тепла возможен при использовании для производства ДУ модульных пиролизных ретортных установок типа МПРУ и подобных им [13]. В настоящее время на территории РФ работает более 100 таких установок.

Результаты исследования и их обсуждение

Для получения АУ из лигноцеллюлозных материалов можно использовать паровую [15, 16], химическую [1, 10] или двухстадийную [20] активацию. Наименьшую экологическую опасность, как мы полагаем, представляет активация с помощью водяного пара. Для ее проведения нами рекомендуется вращающаяся печь, снабженная Z-образной вставкой [7]. Использование такого аппарата дает возможность получать АУ стандартного качества [2, 3].

Характеристики активных углей из разных видов березовой древесины приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики АУ, полученных из разных видов березовой древесины

Показатель	Требования ГОСТ 6217	Древесина		
		тонкомерная	сучья	спелая
Выход АУ, %	–	66	68	68
Суммарный объем пор по воде, см ³ /г	Не менее 1,6	3,1	2,8	2,9
Содержание золы, %	Не более 6,0	4,2	2,8	1,7
Адсорбционная активность по йоду, %	Не менее 60	63	60	64

Из табл. 1 видно, что из разных видов березовой древесины можно производить АУ, полностью соответствующие требованиям ГОСТ 62117 (марка БАУ-А). Использование Z-образной вставки в барабанной печи позволяет выпускать АУ с высоким выходом (66...58 %) и низким удельным расходом пара на активацию (1,2...1,4 т/т ДУ), что создает предпосылки для энерго- и ресурсосбережения.

Из соображений экологической безопасности нами предложено окисление АУ проводить в паровой фазе с использованием в качестве окислителя горячего влажного воздуха [9]. В этом случае не образуются сточных вод, как при жидкофазном окислении. Кроме того, применение насыщенного влажной воздуха увеличивает выход продукта, что подтверждено экспериментально (рис. 2).

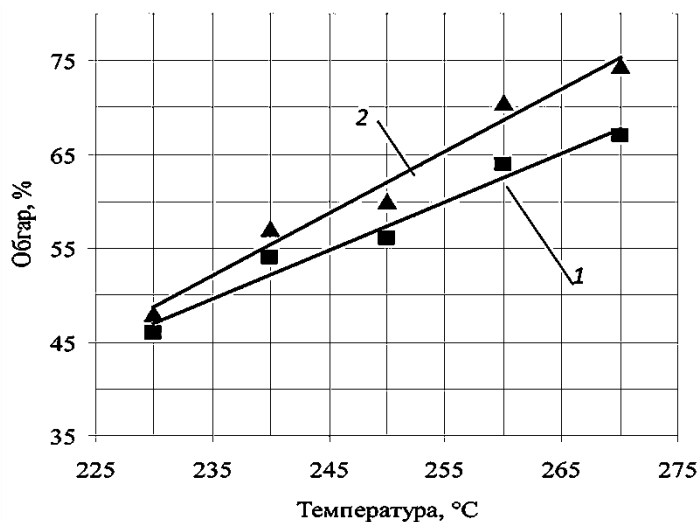
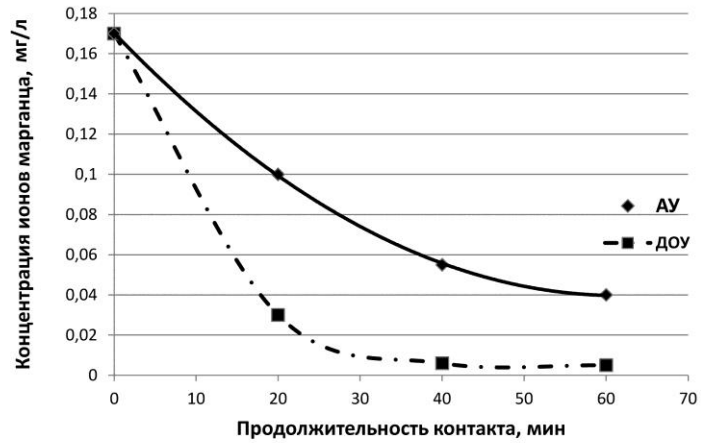
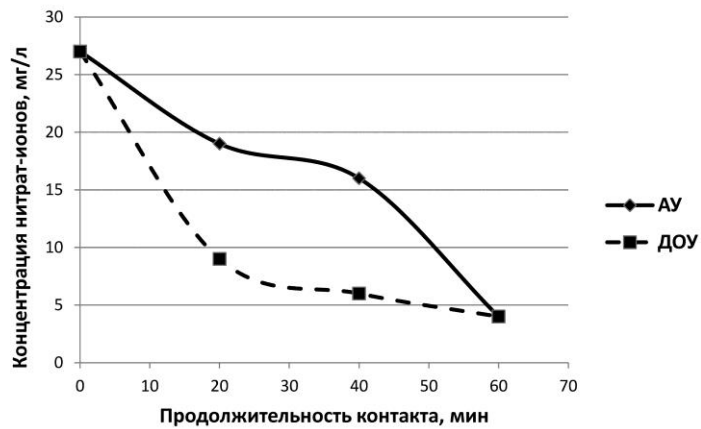


Рис. 2. Зависимость обгара угля от температуры при окислении воздухом, насыщенным (1) и не насыщенным (2) парами воды

Несмотря на то, что АУ являются анионообменником, а ДОУ – катионообменником, в обоих случаях эффективно проходит сорбция, что показано на примере сорбции катионов и анионов (рис. 3).



а



б

Рис. 3. Зависимость содержания ионов марганца (*а*) и нитрат-ионов (*б*) от продолжительности обработки углями

Оба углеродных материала способны сорбировать и катионы, и анионы. Разработанная технология переработки березовой древесины с получением УМ обладает достаточно высокой экономической эффективностью. В табл. 2 приведены показатели эффективности переработки 800 т березового угля в год только на АУ и при совместном производстве АУ и ДОУ.

Таблица 2

Технико-экономические показатели производства АУ и ДОУ

Показатель	Производство	
	АУ	АУ и ДОУ
Производительность по ДУ, т/год	800	800
Выпуск, т/год:		
АУ	500	100
ДОУ	–	160
Рентабельность, %	35	42
Срок окупаемости инвестиций, лет	2,3	2,0

Из табл. 2 следует, что более выгодно совместное производство АУ и ДОУ, но и выпуск только АУ экономически также эффективен.

Выводы

1. Из низкосортной древесины можно получать следующие углеродные материалы: древесный уголь, древесно-угольные брикеты, активные и окисленные угли.

2. При переработке древесины по предложенной схеме ресурсосбережение достигается за счет организации производства древесного биотоплива и брикетирования мелких фракций древесного угля, энергосбережение – за счет сжигания парогазовой смеси пиролиза и газов активации.

3. Снижение экологической опасности обеспечивается применением водяного пара (на стадии получения активных углей) и воздуха (на стадии получения окисленного угля).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богданович Н.И., Короткий В.П., Великанов В.И., Носков Д.К. Переработка низкосортной и мелкотоварной древесины в энтеросорбенты для сельского хозяйства методом совмещенного процесса карбонизации-активации на модульных установках в полевых условиях // Лесн. журн. 2010. № 4. С. 126–131. (Изв. высш. учеб. заведений).
2. Дроздова Н.А., Юрьев Ю.Л. Активация березового и осинового угля // Вестн. Казан. технол. ун-та. 2012. Т. 15, № 13. С. 147–148.
3. Дроздова Н.А., Юрьев Ю.Л. Изучение сорбционных свойств активного угля в статических условиях // Вестн. Казан. технол. ун-та. 2013. Т. 16, № 19. С. 83–84.
4. Мухин В.М., Тарасов А.В., Клушин В.Н. Активные угли России. М.: Металлургия, 2000. 352 с.
5. Пат. 1790209 Рос. Федерация. МПК⁶ С 10 В 1/04, С 10 В 53/02. Установка для производства древесного угля / Богданович Н.И., Ипатов В.В. Заявл. 21.09.1990; опубл. 27.11.95, Бюл. №11. 3 с.
6. Пат. 2027735 Рос. Федерация. МПК⁶ С 10 В 1/04, С 10 В 15/02, С10В 57/02. Установка для производства древесного угля / Богданович Н.И., Гольверк С.В. Заявл. 27.10.92; опубл. 27.01.95, Бюл. № 2. 3 с.

7. Пат. 2051097 Рос. Федерация. МПК⁶ С 01 В 31/10, С 23 С 8/00. Способ активации карбонизованных материалов / Панюта С.А., Юрьев Ю.Л., Стахровская Т.Е., Шишко И.И. Заявл. 25.11.92; опубл. 27.12.95, Бюл. № 12. 3 с.
8. Пат. 118960 Рос. Федерация. МПК⁹ С 10 В 53. Установка для производства древесного угля и шихты / Пономарев О.С., Юрьев Ю.Л. Заявл. 21.02.2012; опубл. 10.08.2012, Бюл. № 22. 2 с.
9. Пат. 71655 Рос. Федерация. МПК⁸ С 10 В 1/14. Устройство для получения окисленного древесного угля / Юрьев Ю.Л., Гиндулин И.К. Заявл. 12.11.07; опубл. 20.03.08, Бюл. № 8. 3 с.
10. Саврасова Ю.А., Богданович Н.И., Макаревич Н.А., Белецкая М.Г. Углеродные адсорбенты на основе лигноцеллюлозных материалов // Лесн. журн. 2012. № 1. С. 107–112. (Изв. высш. учеб. заведений).
11. Юрьев Ю.Л. Технология лесохимических производств. Ч. 1. Пиролиз древесины: учеб. пособие. Екатеринбург: Полиграфист, 1997. 99 с.
12. Юрьев Ю.Л., Солдатов А.В. Термохимическая переработка древесины в условиях лесопромышленного предприятия // Лесн. журн. 2005. № 3. С. 113–118. (Изв. высш. учеб. заведений).
13. Юрьев Ю.Л., Терентьев В.Б., Самойленко С.А. Проблемы переработки неликвидной лиственной древесины // Леса России и хозяйство в них. 2013. № 1(44). С. 111–112.
14. Kammen D.M., Lew D.J. Review of Technologies for the Production and Use of Charcoal. Available at: www.hedon.info/docs/Kammen-Lew-Charcoal-2005.pdf
15. Lussier M.G., Shull J.C., Miller D.J. Activated Carbon from Cherry Stones // Carbon. 1994. Vol. 32, no. 8. Pp. 1493–1498. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/journal/00086223/32>
16. Patent EP, no. 0216229 A2. Process for the Manufacture of Active Carbon / Wienhaus O., Klose E., Born M., Hennig F., Blossfeld O., Seidel H., Riedel D., Fischer F., Zimmer J., Heidrich M., Löttsch P. 1989.
17. Patent US, no. 20080142354 A1. Carbonizing Apparatus, Carbonizing System and Carbonizing Method / Yokoyama K., Fujiwara M., Ueda S., Arai Y., Kudo T., Miyahara S. 2008.
18. Patent US, no. 8202400 B2. Manufacture of Charcoal / Elliott A.M. 2012.
19. Patent US, no. 20110008317. Charcoals / de Leij F.A., Hutchings T.R., Wingate J.R. 2011.
20. Rodriguez-Reinoso F., Linares-Solano A., Molina-Sabio M., Lopez-Conzalez J. de D. The Two-Stage Air-CO₂ Activation in the Preparation of Activated Carbons. I: Characterization by Gas Adsorption // Adsorption Science and Technology. 1984. Vol. 1, no. 3. Pp. 211–222.
21. Stassen H.E. Developments in Charcoal Production Technology. Available at: www.fao.org/docrep/005/y4450e/y4450e11.htm
22. Wienhaus O., Blossfeld O., Born M., Zimmer J. Neue Erkenntnisse bei der Erzeugung von Holz- und Aktivkohlen aus Kieferschlagabraum // Zellst. und Pap. 1985. Vol. 34, no. 1. Pp. 32–36.

Поступила 23.03.17

UDC 674.8:66.04

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.139

Options of Low-Grade Wood Processing into Carbon-Base Materials

Yu.L. Yur'ev¹, Doctor of Engineering Sciences, Professor

I.K. Gindulin¹, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

N.A. Drozdova², Candidate of Engineering Sciences, Principal Environmental Specialist

¹Ural State Forest Engineering University, Sibirskiy trakt, 37, Yekaterinburg, 620100, Russian Federation; e-mail: bluestones@mail.ru, tradeek@mail.ru

²Municipal Unitary Enterprise of Housing and Communal Services “Sysertscoe”, ul. Kommuny, 48, Sysert, Sverdlovsk region, 624022, Russian Federation; e-mail: drozdova-na@mail.ru

The forested area in the most inhabited lands of the European Ural part of the Russian Federation is occupied mainly by low-grade hardwood with a predominance of birch and aspen. Pyrolysis is a traditional method for low-grade wood processing; the produced charcoal can be effectively used in the technology of other carbon materials. The structure of the developed system for the production of carbon materials from wood consists of 4 subsystems: 1 – raw material procurement, 2 – primary wood processing, 3 – wood pyrolysis, 4 – charcoal processing. When harvesting and primary processing of wood, energy and resource saving is ensured through the wood waste utilization; during pyrolysis – by using heat exothermic reactions. In the timber industry enterprises, the excess heat abstraction is possible when using modular pyrolysis retort units and similar apparatuses for the production of charcoal. When processing charcoal, resource saving is provided by briquetting of its small fractions, and energy saving – by activation gases burning. Water steam activation poses the least environmental hazard in the producing process of active carbons. We propose to conduct oxidation of activated charcoal (for reasons of environmental safety) in the vapor phase using hot moist air as an oxidizing agent. At the same time, no wastewater is formed. The analysis of options of low-grade wood processing has shown that the developed technology of carbon materials allows us to increase the cost of products, for example, from 1 m³ of birch wood more than 3 times, and to increase the economic stability of forestry enterprises. At the same time, we can obtain up to 4 types of carbon materials (charcoal, wood-coal briquettes, activated and oxidized coals), and reduce the environmental hazard of their production by burning a steam-gas mixture of wood pyrolysis, by the use of water vapor (at the stage of activated charcoals producing) and air (at the stage of obtaining of oxidized coal).

Keywords: low-grade wood processing, pyrolysis, charcoal, activated charcoal, energy saving.

For citation: Yur'ev Yu.L., Gindulin I.K., Drozdova N.A. Options of Low-Grade Wood Processing into Carbon-Base Materials. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 5, pp. 139–149. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.139

REFERENCES

1. Bogdanovich N.I., Korotkiy V.P., Velikanov V.I., Noskov D.K. Pererabotka nizkosortnoy i melkotovarnoy drevesiny v enterosorbenty dlya sel'skogo khozyaystva metodom sovmeshchennogo protsessa karbonizatsii-aktivatsii na modul'nykh ustanovkakh v polevykh usloviyakh [Processing of Low-grade and Small Merchantable Wood into Enterosorbents for Agriculture by Method of Concurrent Process of Carbonation-activation on Modular Installations in Field Conditions]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2010, no. 4, pp. 126–131.
2. Drozdova N.A., Yur'ev Yu.L. Aktivatsiya berezovogo i osinovogo uglya [Activation of Birch and Aspen Charcoal]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Herald of Kazan Technological University], 2012, vol. 15, no. 13, pp. 147–148.
3. Drozdova N.A., Yur'ev Yu.L. Izuchenie sorbtionnykh svoystv aktivnogo uglya v staticheskikh usloviyakh [Study of Sorption Properties of Activated Charcoal under Static Conditions]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Herald of Kazan Technological University], 2013, vol. 16, no. 19, pp. 83–84.
4. Mukhin V.M., Tarasov A.V., Klushin V.N. *Aktivnyye ugli Rossii* [Activated Charcoal of Russia]. Moscow, Metallurgiya Publ., 2000. 352 p. (In Russ.)
5. Bogdanovich N.I., Ipatov V.V. *Ustanovka dlya proizvodstva drevesnogo uglya* [Installation for the Charcoal Production]. Patent RF, no. 1790209, 1990.
6. Bogdanovich N.I., Gol'verk S.V. *Ustanovka dlya proizvodstva drevesnogo uglya* [Installation for the Charcoal Production]. Patent RF, no. 2027735, 1992.
7. Panyuta S.A., Yur'ev Yu.L., Stakhrovskaya T.E., Shishko I.I. *Sposob aktivatsii karbonizovannykh materialov* [The Method of Carbonized Materials Activation]. Patent RF, no. 2051097, 1992.
8. Ponomarev O.S., Yur'ev Yu.L. *Ustanovka dlya proizvodstva drevesnogo uglya i shikhty* [Installation for the Charcoal and Charge Production]. Patent RF, no. 118960, 2012.
9. Yur'ev Yu.L., Gindulin I.K. *Ustroystvo dlya polucheniya okislennogo drevesnogo uglya* [Device for Oxidized Charcoal Producing]. Patent RF, no. 71655, 2007.
10. Savrasova Yu.A., Bogdanovich N.I., Makarevich N.A., Beletskaya M.G. Uglerodnye adsorbenty na osnove lignotsellyuloznykh materialov [Carbon Adsorbents Based on Lignocellulosic Materials]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2012, no. 1, pp. 107–112.
11. Yur'ev Yu.L. *Tekhnologiya lesokhimicheskikh proizvodstv. Ch. 1. Pirolyz drevesiny* [Technology of Wood Chemical Production. Part 1. Wood Pyrolysis]. Yekaterinburg, Poligrafist Publ., 1997. 99 p. (In Russ.)
12. Yur'ev Yu.L., Soldatov A.V. Termokhimicheskaya pererabotka drevesiny v usloviyakh lesopromyshlennogo predpriyatiya [Thermochemical Woodworking in Forest-industrial Enterprise]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2005, no. 3, pp. 113–118.
13. Yur'ev Yu.L., Terent'ev V.B., Samoylenko S.A. Problemy pererabotki nelikvidnoy listvennoy drevesiny [The Problem of Illiquid Hardwood Processing]. *Lesa Rossii i khozyaystvo v nikh*, 2013, no. 1(44), pp. 111–112.
14. Kammen D.M., Lew D.J. *Review of Technologies for the Production and Use of Charcoal*. Available at: www.hedon.info/docs/Kammen-Lew-Charcoal-2005.pdf.
15. Lussier M.G., Shull J.C., Miller D.J. Activated Carbon from Cherry Stones. *Carbon*, 1994, vol. 32, no. 8, pp. 1493–1498. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/journal/00086223/32>.

16. Wienhaus O., Klose E., Born M., Hennig F., Blossfeld O., Seidel H., Riedel D., Fischer F., Zimmer J., Heidrich M., Löttsch P. *Process for the Manufacture of Active Carbon*. Patent EP 0216229 A2, 1989.

17. Yokoyama K., Fujiwara M., Ueda S., Arai Y., Kudo T., Miyahara S. *Carbonizing Apparatus, Carbonizing System and Carbonizing Method*. Patent US, no. 20080142354 A1, 2008.

18. Elliott A.M. *Manufacture of Charcoal*. Patent US 8202400 B2, 2012.

19. de Leij F.A., Hutchings T.R., Wingate J.R. *Charcoals*. Patent US 20110008317, 2011.

20. Rodriguez-Reinoso F., Linares-Solano A., Molina-Sabio M., Lopez-Conzalez J. de D. The Two-Stage Air-CO₂ Activation in the Preparation of Activated Carbons. I: Characterization by Gas Adsorption. *Adsorption Science and Technology*, 1984, vol. 1, no. 3, pp. 211–222.

21. H.E. Stassen. *Developments in Charcoal Production Technology*. Available at: www.fao.org/docrep/005/y4450e/y4450e11.htm.

22. Wienhaus O., Blossfeld O., Born M., Zimmer J. Neue Erkenntnisse bei der Erzeugung von Holz- und Aktivkohlen aus Kieferschlagabraum. *Zellst. und Pap.*, 1985, vol. 34, no. 1, pp. 32–36.

Received on March 23, 2017

УДК 676.26

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.150

**ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
И ПРОЦЕССА БИОРАЗЛОЖЕНИЯ
МОДИФИЦИРОВАННОЙ МЕШОЧНОЙ БУМАГИ***

А.И. Назмиева, асп.

М.Ф. Галиханов, д-р техн. наук, проф.

Л.Р. Мусина, канд. техн. наук

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
ул. К. Маркса, д. 68, г. Казань, Республика Татарстан, Россия, 420015;

e-mail: mgalikhanov@yandex.ru, L.musina@yandex.ru, nazmievaalsu@yandex.ru

В работе исследованы механические свойства немодифицированной и модифицированной мешочной бумаги (с поверхностной обработкой крахмальным или полилактидным покрытиями и униполярным (отрицательным) коронным разрядом), изучен процесс их биоразложения. Полимерное покрытие наносили раствором методом, обработку в поле отрицательного коронного разряда проводили при подаваемом на электрод напряжении 30 кВ в течение 30 с. Исследование мешочной бумаги показало увеличение ее прочностных характеристик при нанесении полимерных покрытий. После обработки целлюлозно-бумажных материалов в поле отрицательного коронного разряда незначительно уменьшилась прочность в продольном (машинном) направлении и увеличилась в поперечном. Полагаем, что снижение механических свойств связано с ослаблением волокон вследствие деструкции макромолекул целлюлозы, а возрастание прочности происходит благодаря упрочнению сил связи между волокнами. Биоразлагаемость целлюлозно-бумажных материалов определяли аэробным разложением (компостированием, когда разложение органических веществ идет с потреблением свободного кислорода или воздуха). Исследования показали, что мешочная бумага полностью разлагается после 3 мес. При нанесении на нее полилактидного покрытия срок биоразложения сокращается до 2,5 мес., крахмального – до 1,5 мес. Обработка целлюлозно-бумажных материалов в коронном разряде еще более ускорила процесс биоразложения: для мешочной бумаги и бумаги с крахмальным покрытием – до 1,5 мес., для бумаги с полилактидным покрытием – до 2 мес.

Ключевые слова: мешочная бумага, полилактид, крахмал, униполярный коронный разряд, биоразложение.

* Выражается благодарность инновационно-технологическому центру «Современные технологии переработки биоресурсов Севера» Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова.

Для цитирования: Назмиева А.И., Галиханов М.Ф., Мусина Л.Р. Изучение физико-механических свойств и процесса биоразложения модифицированной мешочной бумаги // Лесн. журн. 2017. № 5. С. 150–158. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.150

Введение

Среди целлюлозно-бумажных материалов (ЦБМ), используемых в упаковочной промышленности, по объему выпуска и потребления одно из основных мест занимает мешочная бумага, к основным преимуществам которой можно отнести высокие прочностные характеристики, легкость, дешевизну и доступность сырья, удобство при эксплуатации и транспортировке [9]. Однако она имеет и существенный недостаток – низкую механическую прочность в увлажненном состоянии. Также при длительных перевозках наблюдается появление трещин и разрывов бумаги, которые приводят к нарушению целостности упаковки и упакованного продукта. Это значительно сокращает ее сферу применения в тех случаях, когда важно сохранение прочности упаковки при большой массе затариваемого продукта и воздействии динамических нагрузок.

Для повышения качества ЦБМ и расширения возможности их использования применяют, например, ламинирование полиэтиленом, полипропиленом, поверхностную обработку парафиновыми, клеевыми композициями и др. [8, 9]. Но при этом снижается способность материалов к биоразложению, так как входящие в их состав синтетические полимеры практически не ассимилируются микрофлорой почвы [6]. Для улучшения свойств мешочной бумаги можно предложить ее поверхностную обработку биоразлагаемыми L-полилактидом (ПЛА) или кукурузным крахмалом. ПЛА получают из возобновляемого растительного сырья, он обладает физико-механическими свойствами, не уступающими традиционным синтетическим полимерам, перерабатывается в изделия всеми методами переработки пластмасс. Крахмал является полисахаридом и входит в состав большинства видов бумаги, в том числе в мешочную. Известны работы, в которых показано, что те или иные свойства ЦБМ могут быть улучшены за счет воздействия физических полей различной природы [1–5, 7, 10, 15], к их числу относится униполярный коронный разряд [7, 15].

Цель настоящей работы – оценка биоразлагаемости и определение показателей физико-механических свойств мешочной бумаги, модифицированной с помощью полимерных покрытий и отрицательного коронного разряда.

Объекты и методы исследования

В качестве объектов исследования были выбраны мешочная бумага марки М-78 (ГОСТ 2228–81) плотностью 78 г/м², кукурузный крахмал и L-полилактид. Следует отметить, что ПЛА и кукурузный крахмал являются биологически разлагаемыми материалами [11, 13, 14].

Для нанесения покрытия на поверхность мешочной бумаги использовали 3 %-й раствор ПЛА в хлороформе. Толщина нанесенного покрытия составляла 1,5...2,0 мкм. Крахмальный клейстер готовили на водяной бане при температуре 95 °С и постоянном перемешивании до образования однородной массы при следующем соотношении, г: крахмал : вода : глицерин =

= 4,75 : 10,00 : 0,16. Нанесение покрытия на поверхность бумаги осуществляли с помощью валика. Толщина крахмального покрытия – 6 мкм. Материалы с поверхностной обработкой охлаждали при комнатной температуре.

После нанесения покрытия и испарения растворителя часть образцов подвергали электретированию в отрицательном коронном разряде. Для этого образцы помещали в коронирующую ячейку с электродом, состоящим из 196 заостренных игл, равномерно расположенных по площади 49 см² в виде квадрата. Подаваемое на него в течение 30 с напряжение – 30 кВ (рис. 1).

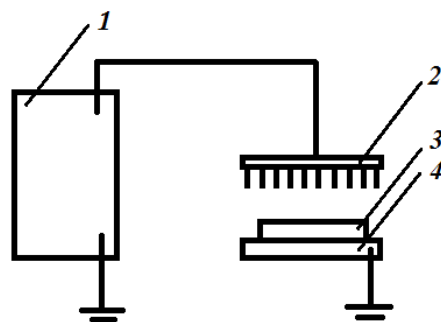


Рис. 1. Схема коронатора: 1 – источник высокого напряжения, 2 – коронирующий электрод, 3 – образец, 4 – заземленный электрод

Показатели механических свойств образцов определяли на лабораторном испытательном комплексе, включающем разрывную машину ТС 101-0,5 (г. Иваново) и ПЭВМ, биоразлагаемость целлюлозно-бумажных материалов – по ГОСТ Р 54530–2011 аэробным разложением (компостированием) – разложением органических веществ с потреблением свободного кислорода или воздуха. При этом одну часть образцов располагали на поверхности почвы, другую – на некоторой глубине. Периодически почву увлажняли. Не реже чем 1 раз в 2 недели образцы извлекали для оценки их внешнего вида и анализа произошедших с ними изменений.

Результаты исследования и их обсуждение

На первом этапе исследований определяли показатели физико-механических свойств мешочной бумаги после обработки поверхности крахмальным и полилактидным покрытием, а также униполярным (отрицательным) коронным разрядом.

Для анализа влияния покрытий на показатели механических свойств мешочной бумаги при воздействии растягивающих нагрузок использовали следующие базовые характеристики: напряжение при разрушении σ_p , разрывную длину L , жесткость при растяжении E . Оказалось, что применение ПЛА и кукурузного крахмала для поверхностной обработки этого вида ЦБМ позволяет улучшить целый комплекс свойств (см. таблицу).

**Показатели физико-механических свойств
образцов немодифицированной и модифицированной мешочной бумаги**

Образец М-78	σ_p , МПа		L , м		E , кН/м	
	MD	CD	MD	CD	MD	CD
Исходный (без покрытия)	50,1/-	25,5/+6	8500/-	4400/+5	570/+4	260/+12
С покрытием:						
ПЛА	55,9/-12	27,6/+7	8950/-6	4550/-	620/-5	310/-
крахмал	51,1/-	26,2/-	8400/-7	4100/-	550/-9	240/-

Примечания. 1. MD – машинное направление, CD – противоположное машинному направлению. 2. В знаменателе приведены данные, полученные при обработке в поле отрицательного коронного разряда (%), в числителе – без обработки полем.

Нанесение ПЛА повышает прочность в машинном направлении на 12 %, в поперечном машинному – на 8 %. Крахмальное покрытие на поверхности бумажного листа способствует незначительному увеличению прочности как в машинном, так и в поперечном направлениях. Прочность бумажного листа зависит не только от прочности исходных волокон и прочности связи между ними. При действии усилия разрыв материала идет по слабому месту, в частности разрываются связи между волокнами, частично и сами волокна. Слабыми местами могут служить дефекты и микронеоднородности (микротрещины, микропоры и т. п.) в структуре материала. Нанесение покрытий значительно уменьшает количество этих дефектов, за счет чего увеличивается механическая прочность материала, что и наблюдается при использовании крахмального и ПЛА покрытий.

Сравнение прочностных характеристик исходных образцов и образцов, обработанных в поле отрицательного коронного разряда, показало эффективность применения данного метода упрочнения для поперечного направления бумаги. Объяснение этого явления видится в следующем. При воздействии постоянного коронного разряда на мешочную бумагу происходит ориентация сегментов макромолекул целлюлозы и ПЛА в электрическом поле. Перемещение волокон способствует их взаимному сближению, установлению новых контактов и, как следствие, повышению степени уплотнения листа. За счет возрастания потенциала двойного электрического слоя на поверхности волокон под действием носителей заряда, инжектируемых в бумагу при обработке в коронном разряде, происходит усиление связей между свободными поверхностными гидроксильными группами целлюлозных волокон.

Упрочнение структуры бумажного листа во многом базируется на установлении водородных связей между волокнами, однако реализация сил электростатических связей между волокнами также играет немаловажную роль. Воздействие коронного заряда повышает вклад влияния электростатических связей в установление контактов между волокнами.

В ряде случаев для машинного направления бумаги наблюдается незначительное уменьшение механической прочности в процессе обработки образцов в коронном разряде, происходит бомбардировка поверхности образованной пленки полимерного покрытия ионами и электронами. В результате этого часть полимерных цепей превращается в макрорадикалы, наличие которых приводит как к окислению поверхности, так и к частичной деструкции макромолекул полимера. Это подтверждается данными работы [8], в которой показано, что молекулярная масса полимеров уменьшается с увеличением действия электрического поля.

На втором этапе исследовали биоразлагаемость мешочной бумаги.

Полученные результаты (рис. 2) показали, что исходные (без покрытия) образцы мешочной бумаги недолго сохраняют свою целостность при захоронении и полностью разлагаются через 3 мес. У образцов с ПЛА покрытием биоразложение начинается с краев, пленки теряют четкие границы, появляются трещины и т. д., полное биоразложение наблюдается через 2,5 мес. Полное биоразложение для мешочной бумаги с крахмальным покрытием отмечалось через 1,5 мес. Для мешочной бумаги, обработанной в поле коронного разряда, биоразложение идет быстрее, чем для исходной бумаги. Ускоренное разложение мешочной бумаги с крахмальным покрытием вполне объяснимо: крахмал является хорошей питательной средой для микроорганизмов почвы. Не случайно крахмал добавляют в синтетические полимеры для придания им биоразлагаемости [3, 6, 12].

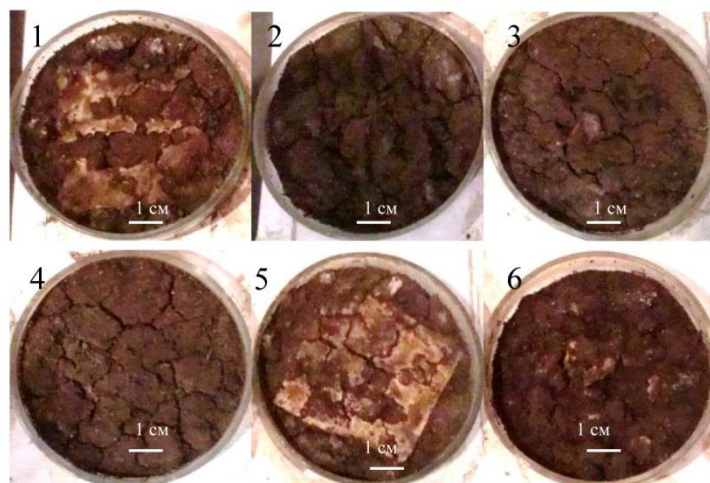


Рис. 2. Образцы мешочной бумаги через 1,5 мес. хранения на поверхности почвы: 1 – без обработки; 2 – обработанная в поле отрицательного коронного разряда; 3 – с крахмальным покрытием; 4 – с крахмальным покрытием, обработанная в поле отрицательного коронного разряда; 5 – с ПЛА покрытием; 6 – с ПЛА покрытием, обработанная в поле отрицательного коронного разряда

Обработка материалов в поле коронного разряда ускоряла процесс био-разложения. Так, мешочная бумага, обработанная в поле коронного разряда, разлагается в течение 1,5 мес., бумага с ПЛА покрытием – через 2 мес., бумага с крахмальным покрытием – через 1,5 мес. Это еще раз подтверждает правильность приведенных выше предположений о начале деструкции волокон мешочной бумаги под действием поля отрицательного коронного разряда. Данное явление облегчает ассимиляцию исследуемых материалов микроорганизмами почвы.

Заключение

1. При нанесении полимерного покрытия на мешочную бумагу увеличиваются ее показатели физико-механических свойств: напряжение при разрушении, разрывная длина, жесткость при растяжении.

2. Обработка ЦБМ в поле отрицательного коронного разряда незначительно уменьшает прочность в продольном (машинном) направлении и увеличивает в поперечном. Снижение показателей связано с ослаблением волокон вследствие деструкции макромолекул целлюлозы. Рост прочности происходит благодаря упрочнению сил связи между волокнами.

3. При модифицировании мешочной бумаги полилактидным или крахмальным покрытиями и электретирувании униполярным коронным разрядом улучшается биоразлагаемость, что связано с природой полимеров и частичной деструкцией макромолекул целлюлозы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вураско А.В., Фролова Е.И., Стоянов О.В. Повышение сорбционных свойств технической целлюлозы из недревесного растительного сырья // Вестн. Казан. технол. ун-та. 2014. Т. 17, № 1. С. 41–43.

2. Гайнанова Г.А., Галиханов М.Ф., Мусина Л.Р., Назмиева А.И., Тюрикова В.В. Влияние поверхностной обработки мешочной бумаги полилактидным покрытием и коронным разрядом на ее барьерные свойства // Вестн. Казан. технол. ун-та. 2016. Т. 19, № 14. С. 119–122.

3. Галиханов М.Ф., Жигаева И.А., Миннахметова А.К., Дебердеев Р.Я., Муслимова А.А. Электретные свойства композиций сополимеров этилена с винилацетатом с крахмалом // Изв. Рос. гос. педагог. ун-та им. А.И. Герцена. 2009. № 79. С. 115–119.

4. Галиханов М.Ф., Мусина Л.Р. Изменение показателей физико-механических свойств гофрокартона при его покрытии полиэтиленом // Лесн. журн. 2012. № 5. С. 143–148. (Изв. высш. учеб. заведений).

5. Жолнерович Н.В., Черная Н.В., Лях К.А. Исследование прочностных свойств мешочной бумаги // Тр. БГТУ. Сер. 4: Химия, технология органических веществ и биотехнология. 2008. Т. 1, № 4. С. 280–283.

6. Карпунин И.И., Кузьмич В.В., Балабанова Т.Ф. Классификация биологически разлагаемых полимеров // Наука и техника. 2015. № 5. С. 53–59.

7. Перепелкина А.А., Галиханов М.Ф., Мусина Л.Р. Влияние термической обработки и электрофизического воздействия на сопротивление продавливанию целлюлозно-бумажного материала // Вестн. Казан. технол. ун-та. 2013. Т. 16, № 7. С. 113–114.
8. Рагимов Я.Г., Абасов С.А., Алигулиев Р.М., Хитеева Д.М., Эльмира Джалал Кызы. Исследование деструктивных процессов в полиэтилене, происходящих под действием электрического поля // Высокомолекулярные соединения. Сер. Б. 1982. Т. 24, № 6. С. 406–409.
9. Технология целлюлозно-бумажного производства. В 3 т. Т. II. Производство бумаги и картона. Ч. 2. Основные виды и свойства бумаги, картона, фибры и древесных плит. СПб.: Политехника, 2006. 499 с.
10. Azharonok V.V., Filatova I.I., Voshchula I.V., Dlugunovich V.A., Tsaryuk O.V., Gorzhanova T.N. Change in the Optical Properties of Paper when Exposed to the Magnetic Component of a High-Frequency Electromagnetic Field // Journal of Applied Spectroscopy. 2007. Vol. 74, no. 4. Pp. 465–471.
11. Choi S.-G., Kerr W.L. Swelling Characteristics of Native and Chemically Modified Wheat Starches as a Function of Heating Temperature and Time // Starch. 2004. Vol. 56, iss. 5. Pp. 181–189.
12. Galikhanov M.F., Zhigaeva I.A., Minnakhmetova A.K., Deberdeev R.Ya. Biodegradability of Electret Polymer Materials // Russian Journal of Applied Chemistry. 2008. Vol. 81, no. 7. Pp. 1258–1261.
13. Lim L.-T., Auras R., Rubino M. Processing Technologies for Poly (Lactic Acid) // Progress in Polymer Science. 2008. Vol. 33, iss. 8. Pp. 820–852.
14. Nair L.S., Laurencin C.T. Biodegradable Polymers as Biomaterials // Progress in Polymer Science. 2007. Vol. 32, iss. 8-9. Pp. 762–798.
15. Perepelkina A.A., Galikhanov M.F., Musina L.R. Effect of Unipolar Corona Discharges on Properties of Pulp-and-Paper Materials // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. 2015. Vol. 51, no. 2. Pp. 138–142.

Поступила 02.04.17

UDC 676.26

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.150

Physical and Mechanical Properties and the Process of Biodegradability of Modified Sack Paper

A.I. Nazmieva, Postgraduate Student

M.F. Galikhanov, Doctor of Engineering Sciences, Professor

L.R. Musina, Candidate of Engineering Sciences

Kazan National Research Technological University, ul. K. Marksa, 68, Kazan, Republic of Tatarstan, 420015, Russian Federation; e-mail: mgalikhanov@yandex.ru, L.musina@yandex.ru, nazmievaalsu@yandex.ru

For citation: Nazmieva A.I., Galikhanov M.F., Musina L.R. Physical and Mechanical Properties and the Process of Biodegradability of Modified Sack Paper. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 5, pp. 150–158. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.150

The paper studies the mechanical properties unmodified and modified sack paper (with the surface treatment with starch or polylactide coatings and unipolar (negative) corona discharge) and the process of their biodegradability. The polymer coating is applied by a solution method; the processing in the negative corona discharge field is carried out with a voltage of 30 kV applied to the electrode for 30 seconds. The study of sack paper shows an increase of its strength characteristics when applying polymer coatings. The strength in the longitudinal (machine) direction decreases slightly and increases in the transverse direction after the processing of pulp and paper materials in the field of negative corona discharge. The decrease of mechanical properties is due to the fibers weakening because of the destruction of cellulose macromolecules, and the strength enhancement is due to the hardening of the bonding strength between the fibers. Biodegradability of pulp and paper materials is determined by the aerobic decomposition method (composting, when the decomposition of organic substances proceeds with the consumption of free oxygen or air). Sack paper completely decomposes after 3 months. When a polylactide coating is applied on it, the biodegradation period is reduced to 2.5 months, for the starch coating – 1.5 months. The processing of pulp-and-paper materials in corona discharge accelerates the process of biodegradation: for sack paper and paper with starch coating – up to 1.5 months, for paper with polylactide coating – up to 2 months.

Keywords: sack paper, polylactide, starch, unipolar corona discharge, biodegradability.

REFERENCES

1. Vurasko A.V., Frolova E.I., Stoyanov O.V. Povyshenie sorbtionnykh svoystv tekhnicheskoy tsellyulozy iz nedrevesnogo rastitel'nogo syr'ya [Increase of Sorption Properties of Technical Pulp from Non-Wood Vegetable Raw Materials]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Herald of Kazan Technological University], 2014, vol. 17, no. 1, pp. 41–43.
2. Gaynanova G.A., Galikhanov M.F., Musina L.R., Nazmieva A.I., Tyurikova V.V. Vliyaniye poverkhnostnoy obrabotki meshochnoy bumagi polilaktidnym pokrytiem i koronnym razryadom na ee bar'ernyye svoystva [Influence of Surface Treatment of Sack Paper by Polylactide Coating and Corona Discharge on Its Barrier Properties]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Herald of Kazan Technological University], 2016, vol. 19, no. 14, pp. 119–122.
3. Galikhanov M.F., Zhigayeva I.A., Minnakhmetova A.K., Deberdeev R.Ya., Muslimova A.A. Elektretnyye svoystva kompozitsiy sopolimerov etilena s vinilatsetatom s krakhsalom [Electret Properties of Composite of Ethylene-Vinyl Acetate Copolymer with Amylase]. *Izvestiya Rossiyskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. A.I. Gertsena* [Izvestia: Herzen University Journal of Humanities & Science], 2009, no. 79, pp. 115–119.
4. Galikhanov M.F., Musina L.R. Izmeneniye pokazateley fiziko-mekhanicheskikh svoystv gofrokartona pri ego pokrytii polietilenom [Change of Physical-and-Mechanical Properties of Corrugated Board Covered with Polyethylene]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2012, no. 5, pp. 143–148.
5. Zholnerovich N.V., Chernaya N.V., Lyakh K.A. Issledovaniye prochnostnykh svoystv meshochnoy bumagi [Study Strength Properties of Sack Paper]. *Trudy BGTU. Ser. 4: Khimiya, tekhnologiya organicheskikh veshchestv i biotekhnologiya* [Proceedings of

BSTU. Ser. 4: Chemistry, Organic Substances Technology and Biotechnology], 2008, vol. 1, no. 4, pp. 280–283.

6. Karpunin I.I., Kuz'mich V.V., Balabanova T.F. Klassifikatsiya biologicheskii razlagaemykh polimerov [Classification of Biodegradable Polymers]. *Nauka i tekhnika* [Science & Technique], 2015, no. 5, pp. 53–59.

7. Perepelkina A.A., Galikhanov M.F., Musina L.R. Vliyanie termicheskoy obrabotki i elektrofizicheskogo vozdeystviya na soprotivlenie prodavlivaniyu tsellyulozno-bumazhnogo materiala [Impact of Heat Treatment and Electrophysical Influence on the Burst Strength of Pulp and Paper Material]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Herald of Kazan Technological University], 2013, vol. 16, no. 7, pp. 113–114.

8. Ragimov Ya.G., Abasov S.A., Aliguliev R.M., Khiteeva D.M., El'mira Dzhahal kyzy. Issledovanie destruktivnykh protsessov v polietilene, proiskhodyashchikh pod deystviem elektricheskogo polya [Investigation of Destructive Processes in Polyethylene under the Action of the Electric Field]. *Vysokomolekulyarnye soedineniya. Ser. B* [Polymer Science. Ser. B], 1982, vol. 24, no. 6, pp. 406–409.

9. *Tekhnologiya tsellyulozno-bumazhnogo proizvodstva. V 3 t. T. II. Proizvodstvo bumagi i kartona. Ch. 2. Osnovnye vidy i svoystva bumagi, kartona, fibry i drevesnykh plit* [Technology of Pulp and Paper Production. In 3 Volumes. Vol. II. Manufacture of Paper and Cardboard. Part 2. The Main Types and Properties of Paper, Cardboard, Fiber and Wood Boards]. Saint Petersburg, Politekhnik Publ., 2006. 499 p. (In Russ.)

10. Azharonok V.V., Filatova I.I., Voshchula I.V., Dlugunovich V.A., Tsaryuk O.V., Gorzhanova T.N. Change in the Optical Properties of Paper when Exposed to the Magnetic Component of a High-Frequency Electromagnetic Field. *Journal of Applied Spectroscopy*, 2007, vol. 74, no. 4, pp. 465–471.

11. Choi S.-G., Kerr W.L. Swelling Characteristics of Native and Chemically Modified Wheat Starches as a Function of Heating Temperature and Time. *Starch*, 2004, vol. 56, iss. 5, pp. 181–189.

12. Galikhanov M.F., Zhigaeva I.A., Minnakhmetova A.K., Deberdeev R.Ya. Biodegradability of Electret Polymer Materials. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 2008, vol. 81, no. 7, pp. 1258–1261.

13. Lim L.-T., Auras R., Rubino M. Processing Technologies for Poly(Lactic Acid). *Progress in Polymer Science*, 2008, vol. 33, iss. 8, pp. 820–852.

14. Nair L.S., Laurencin C.T. Biodegradable Polymers as Biomaterials. *Progress in Polymer Science*, 2007, vol. 32, iss. 8-9, pp. 762–798.

15. Perepelkina A.A., Galikhanov M.F., Musina L.R. Effect of Unipolar Corona Discharges on Properties of Pulp-and-Paper Materials. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*, 2015, vol. 51, no. 2, pp. 138–142.

Received on April 02, 2017



КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

УДК 630*(049.3)

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.159

**СЛОВАРЬ-СПРАВОЧНИК
«ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ТЕРМИНЫ В ЛЕСОВЕДЕНИИ»**

Н.А. Бабич, д-р с.-х. наук, проф.

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

В 2016 г. в издательстве Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета им. С.М. Кирова вышло второе дополненное издание словаря-справочника «Эколого-географические термины в лесоведении» проф. Д.М. Киреева.

При составлении словаря-справочника использованы другие специализированные словари.

Словарь предназначен для специалистов, применяющих ландшафтный метод, использующих дистанционные и картографические источники информации для оценки, картографирования лесных ресурсов, в инженерном проектировании, при мониторинге лесов, составлении земельного кадастра, организации рационального природопользования и др. Он востребован при обучении специалистов ландшафтно-индикационным методам исследований, студентов природоохранных специальностей и исполнителей, работающих в полосе бореальных лесов Земли.

Каждый термин представлен в виде отдельной статьи, содержащей этимологическую справку, краткое определение понятия, дополнительные сведения, разъясняющие термин; в ней приводятся признаки изображения ландшафтных объектов на дистанционных снимках и физико-географических картах, а также региональные примеры.

Основная цель словаря – обеспечение специалистов однозначной эколого-географической терминологией, помогающей согласовывать ландшафтные исследования, проведенные различными специалистами, работающими в лесном поясе.

В соответствии с основной целью автор рассматривает ландшафтный индикационный метод познания структуры ландшафта. Повышение эффективности исследований лесных территорий ландшафтным методом происходит при переносе основных работ в камеральные условия. В качестве ландшафтных источников информации используются материалы дистанционного зондирования Земли, общегеографические, топографические и тематические карты (в том числе геологические, планы лесонасаждений, геоботанические,

сельскохозяйственные, почвенные, геокриологические), литературные и фондовые источники. Для подбора нужных материалов дистанционного зондирования необходимо знать свойства земель и другую информацию.

В словарь введены утвердившиеся в науке народные ландшафтные термины (бор, суборь, рамень, согра, мшара, ржавец, ендова, ровнядь, плоскоместье, боровинка, переполянье, рям, локотцы, взгорки, лески и др.), местоположения в рельефе (лог, ложбина, лощина, шивер и др.). Многие из них могут быть использованы и сейчас. Важной чертой этих терминов является их лаконичность, возможность замены подробных описаний компонентов и экологических режимов одним словом.

Словарь-справочник является результатом ландшафтно-морфологических исследований, проводимых автором с 1963 г. и по настоящее время. Тематический порядок статей и алфавитный список терминов помогают эффективнее использовать словарь не только для отыскания слов, но и в процессе обучения как справочное и учебное пособие.

Словарь направлен на интенсификацию применения дистанционных и картографических источников информации. Это повышает эффективность методов исследования лесов, облегчает эколого-географическую оценку и характеристику лесных насаждений и лесных земель.

UDC 630*(049.3)

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.5.159

The Dictionary “Ecological and Geographical Terms in Forestry”

N.A. Babich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: n.babich@narfu.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» № 5/359

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 30.06.2017. Подписан в печать 25.09.2017. Заказ № 5513
Форм. бум. 70×108 1/16. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 14,374.
Уч.-изд. л. 19,420. 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) 21-61-18,
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. 5/359

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 30.06.2017. Signed in print 25.09.2017. Order no. 5513
Paper format 70×108 1/16. Times Font. Conv. printer's sh. 14.374.
Acad. publ. sh. 19.420. Circulation 1000 copies.
Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

Contacts: 17 Naberezhnaya Severnoy Dviny, Arkhangelsk, 163002, Russia,
phone/fax +7 (8182) 21-61-18,
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»



Подписка на I полугодие 2018 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) 21-61-18
E-mail: forest@narfu.ru

ISSN 0536 – 1036
DOI:10.17238/issn0536–1036
Изв. вузов. Лесной журнал, № 5, 1 – 160