

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

Лесной журнал

Научный журнал

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

3/345

2015

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)
БЕЛЯКОВА Р.В. – отв. секретарь, засл. работник культуры РФ (Россия, Архангельск)

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

Бессчетнов В.П., д-р биол. наук, проф. (Россия, Нижний Новгород)
Ван Хайнинген А., д-р наук, проф. (США, Ороно)
Воронин А.В., д-р техн. наук, проф. (Россия, Петрозаводск)
Гельфанд Е.Д., д-р техн. наук, проф. (Россия, Архангельск)
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., академик 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)
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)
Рубцов М.В., д-р с.-х. наук, проф., чл.-корр. РАН (Россия, Москва)
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)
Хакимова Ф.Х., д-р техн. наук, проф. (Россия, Пермь)
Холуша О., д-р наук, проф. (Чехия, Брно)
Черная Н.В., д-р техн. наук, проф. (Белоруссия, Минск)
Черных В.Л., д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Йошкар-Ола)
Ширнин Ю.А., д-р техн. наук, проф. (Россия, Йошкар-Ола)
Штукин С.С., д-р с.-х. наук, проф. (Белоруссия, Минск)
Энгельманн Х.-Д., проф., д-р инж. наук (Германия, Эмден)

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА:

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

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF THE RUSSIAN FEDERATION

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

BULLETIN
OF HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTIONS

Lesnoi Zhurnal

(Forestry journal)

Scientific journal

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

3/345

2015

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

EDITORIAL PANEL:

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)
BELYAKOVA R.V. – Executive Secretary, Honoured Worker of Culture of the Russian Federation (Russia, Arkhangelsk)

MEMBERS OF THE EDITORIAL PANEL:

Besschetnov V.P., Doctor of Biology, Prof. (Russia, Nizhny Novgorod)
Van Heiningen A., PhD, Prof. (USA, Orono)
Voronin A.V., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Petrozavodsk)
Gelfand E.D., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Arkhangelsk)
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)
Niemz P., PhD, Prof. (Switzerland, Zürich)
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)
Rubtsov M.V., Doctor of Agriculture, Prof., Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences (Russia, Moscow)
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, 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, Professor (Belarus, Minsk)
Chernykh V.L., Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Yoshkar-Ola)
Shirnin Yu.A., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Yoshkar-Ola)
Shtukin S.S., Doctor of Agriculture, Prof. (Belarus, Minsk)
Engelmann H.-D., Doctor of Engineering, Prof. (Germany, Emden)

MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:

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



СОДЕРЖАНИЕ

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

<i>Н.А. Прожерина.</i> Тропосферный озон и его влияние на ранние этапы роста и развития сосны и ели разного географического происхождения.....	9
<i>И.А. Юдин, О.А. Юдина, Е.Н. Наквасина.</i> Репродуктивные особенности ели обыкновенной в географических культурах Архангельской области.....	19
<i>В.В. Полякова.</i> Железо в грунтовых и поверхностных водах.....	29
<i>Н.Ю. Сташкевич.</i> Рост <i>Pinus sibirica</i> Du Roi в культурах и под пологом сосново-березовых лесов в подтаежной зоне Западного Саяна.....	35
<i>Е.М. Рунова, П.С. Гнаткович.</i> Перспективы рекреационного использования городских лесов селитебной территории Братска.....	43
<i>А.И. Смирнов, Ф.С. Орлов, И.И. Дроздов.</i> Влияние низкочастотного электромагнитного поля на прорастание семян и рост сеянцев сосны обыкновенной и ели европейской.....	53
<i>С.Н. Марич, Н.А. Бабич, И.М. Бабкин, Ю.Г. Хабаров.</i> Оценка воздействия модифицированных лигносульфонатов на вегетацию сорняков и сеянцев ели в лесных питомниках.....	59

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

<i>О.Д. Мюллер, В.И. Мелехов, Д.Л. Герасимчук, Н.М. Ключин, Т.В. Тюрикова.</i> Экспериментальное определение влияния на модуль Юнга давления прессования древесной гранулы.....	69
<i>И.Н. Сертик, А.В. Алексейцев, А.А. Лукаш.</i> Определение параметров пресс-формы для обеспечения целостности лицевой поверхности склеиваемой рельефной фанеры.....	77
<i>А.Е. Алексеев, А.И. Думанский, И.О. Думанский.</i> Выбор режимов лазерной термической обработки ножей рубительных машин для переработки сухой древесины.....	84
<i>В.В. Стоянов, А.А. Бояджи.</i> Экспериментальное исследование прочности и деформативности комбинированной металлодеревянной арочной конструкции.....	93

ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

<i>А.И. Бубнова, Н.И. Богданович.</i> Получение микропористых углеродных адсорбентов методом термохимической активации хвойных опилок с предобработкой ортофосфорной кислотой на стадии предпиролиза.....	104
<i>Т.О. Щербакова, Н.В. Черная.</i> Особенности процесса размола волокнистой суспензии в условиях ее наполнения синтетическими высокодисперсными соединениями в слабощелочной среде.....	112

<i>Е.В. Ипатова, С.М. Крутов, И.В. Грибков, Ю.Н. Сазанов.</i> Сольволиз технических лигнинов в водных и спиртовых растворах гидроксида натрия.....	123
<i>КРАТКИЕ СООБЩЕНИЕ И ОБМЕН ОПЫТОМ</i>	
<i>С.В. Третьяков, С.В. Коптев, А.П. Богданов.</i> Товарные таблицы для таксации листовидных древостоев Архангельской области методом круговых реласкопических площадок.....	137
<i>ИСТОРИЯ НАУКИ</i>	
<i>Е.М. Лупанова.</i> Некоторые аспекты организации и технологий лесного хозяйства в России XVIII в.	142
<i>ЮБИЛЕИ</i>	
<i>Н.А. Бабич, В.И. Мелехов, И.В. Евдокимов.</i> К юбилею ученого-лесоведа и поэта А.П. Добрынина.....	166
<i>И.В. Григорьев.</i> Александр Николаевич Минаев.....	168
<i>ПАМЯТИ УЧЕНЫХ</i>	
<i>Н.А. Моисеев.</i> Памяти академика И.С. Мелехова (к 110-летию со дня рождения)	170



CONTENTS

FORESTRY

<i>N.A. Prozherina.</i> Tropospheric Ozone and its Impact on the Early Growth and Development of Scots Pine and Spruce of Different Geographical Origins.....	9
<i>I.A. Yudin, O.A. Yudina, E.N. Nakvasina.</i> Reproductive Features of Norway Spruce in Geographical Cultures of the Arkhangelsk Region.....	19
<i>V.V. Polyakova.</i> Iron in the Surface and Ground Waters.....	29
<i>N.Yu. Stashkevich.</i> The Growth of <i>Pinus Sibirica</i> du Tour in Croppers and in Overstorey of Mixed Pine-Birch Forests of Subtaiga Zone in the West Sayan.....	35
<i>E.M. Runova, P.S. Gnatkovich.</i> Recreational Use Prospects of Urban Forests on Residential Area in Bratsk.....	43
<i>A.I. Smirnov, F.S. Orlov, I.I. Drozdov.</i> Influence of Low Frequency Electromagnetic Field on Seed Germination and Growth of Seedlings of Scots Pine and Norway Spruce.....	53
<i>S.N. Marich, N.A. Babich, I.M. Babkin, Yu.G. Habarov.</i> Impact Assessment of Modified Lignosulfonate for the Vegetation of Weeds and <i>Picea abies</i> Seedlings in Forest Tree Nurseries.....	59

MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOODSCIENCE

<i>O.D. Myuller, V.I. Melehov, G.L. Gerasimchuk, N.M. Klyushin, T.V. Tyurikova.</i> Experimental Determination of the Impact Pressing Pressure of Wood Pellet on the Young's Modulus.....	69
<i>I.N. Serpik, A.V. Alekseytsev, A.A. Lukash.</i> Press Mold Characterization to Ensure the Integrity of the Front Face of the Bonding Relief Plywood.....	77
<i>A.E. Alekseev, A.I. Dumanskiy, I.O. Dumanskiy.</i> Mode Selection of Laser Thermal Treatment of Chipping Machine Knives for Deadwood Processing.....	84
<i>V.V. Stoyanov, A.A. Boyadzhi.</i> Experimental Study Of Strength And Deformability of Combined Metalwooden Arch Structure.....	93

CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD

<i>A.I. Bubnova, N.I. Bogdanovich.</i> Production of Microporous Carbon Adsorbents by Thermochemical Activation of Coniferous Sawdust with Orthophosphoric Acid Pre-Processing at the Prepyrolysis Stage.....	104
<i>T.O. Shcherbakova, N.V. Chernaya.</i> The Features of Fiber Suspension Beating Process under the Conditions of Its Filling by Synthetic Superfine Compounds in Weakly Alkaline Medium.....	112
<i>E.V. Ipatova, S.M. Krutov, I.V. Gribkov, Iu.N. Sazanov.</i> Solvolysis of Technical Lignin in Water and Alcohol Solutions of Sodium Hydroxide.....	123

SUMMARIES AND EXCHANGE OF TEACHING

- S.V. Tretjakov, S.V. Koptev, A.P. Bogdanov.* Commodity Norm for Evaluation of Larch Stands in Arkhangelsk Region by the Method of Relascop Spots..... 137

HISTORY OF SCIENCE

- E.M. Lupanova.* Some Aspects of Forest Management and Technology in Russia of the XVIII Century..... 142

JUBILEES

- N.A. Babich, V.I. Melekhov, I.V. Evdokimov.* The Anniversary of a Research Forester and a Poet A.P. Dobrynin..... 166
- I.V. Grigoriev.* Alexander Nikolaevich Minayev..... 168

TO THE MEMORY OF SPECIALISTS

- N.A. Moiseev.* In Memory of Academician Melekhov I.S. (in the Context of the 110th Anniversary of His Birth)..... 170
-
-



УДК 630*181:[674.032.475.4/.7]

ТРОПОСФЕРНЫЙ ОЗОН И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА РАННИЕ ЭТАПЫ РОСТА И РАЗВИТИЯ СОСНЫ И ЕЛИ РАЗНОГО ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ*

© *Н.А. Прожерина, канд. биол. наук, ст. науч. сотр.*

Институт экологических проблем Севера УрО РАН, наб. Северной Двины, 23,
г. Архангельск, Россия, 163000; e-mail: pronad1@yandex.ru

Все возрастающее воздействие человека на природу привело к увеличению содержания в атмосфере Земли парниковых газов, изменяющих энергетический баланс в экосистемах. Цель данной работы – исследовать на ранних этапах развития реакцию сеянцев сосны и ели происхождением из разных регионов европейской части России на воздействие повышенной концентрации приземного озона. Эксперимент проводили в течение двух вегетационных сезонов в ботаническом саду Университета г. Куопио (Финляндия) на 4 контрольных площадях и 4 открытых фумигационных площадках, где концентрация озона превышала естественную в 1,4 раза. Исследования показали, что повышение концентрации озона в приземном слое атмосферы вызывает снижение количества проросших семян у сосны обыкновенной, у ели этот показатель под воздействием озона статистически достоверно не изменялся. Были выявлены статистически значимые различия длины побегов у сосны и ели разного географического происхождения. Накопление сухой массы хвои под воздействием озона снижалось у наиболее северных популяций сосны. У ели статистически значимых изменений в накоплении биомассы хвои, корней и побегов не происходило, но отмечался тренд к увеличению содержания абсолютно сухой массы, за исключением северной популяции (ель сибирская) из Пинежского района Архангельской области. Повышение концентрации озона статистически значимо не повлияло на длину хвои как сосны, так и ели всех изученных нами географических происхождений, что подтверждает сделанный нами ранее вывод о стабильности этого показателя и при воздействии других воздушных поллютантов. Нами установлено, что потомства популяций сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) более чувствительны к воздействию озона, чем потомства популяций ели (*Picea spp.*). Данные свидетельствуют о том, что возрастающая концентрация приземного атмосферного озона может нарушать процессы прорастания семян, рост сеянцев сосны и ели и иметь большие негативные последствия для лесовозобновления в будущем.

Ключевые слова: тропосферный озон, сосна, ель, географическое происхождение, ростовые процессы.

*Исследования выполнены при финансовой поддержке INTAS 05-109-4946 «Изучение совместного влияния окислительного стресса, увеличения температуры и концентрации углекислого газа в атмосфере на раннее развитие сосны и ели различного географического происхождения» и ФАНО в рамках темы № 0410-2014-0025 «Структура и динамика компонентов лесных сообществ Европейского Севера России».

Введение

Проблема глобального изменения климата является актуальной для человечества в течение последних десятилетий. Все возрастающее воздействие человека на природу привело к увеличению содержания в атмосфере Земли парниковых газов (углекислый газ, метан, озон, оксиды азота), изменяющих энергетический баланс в экосистемах. Так, концентрация озона за последние 100 лет увеличилась вдвое и продолжает расти со скоростью 0,5...2,5 % в год [9]. Средняя продолжительность жизни молекулы озона составляет 3 нед., что позволяет этому высокотоксичному веществу распространяться на большие расстояния. Таким образом, проблема загрязнения озоном перестает носить региональный характер и становится общемировой.

Озон встречается в двух атмосферных слоях: в тропосфере – слой приземного озона на высоте до 10 км (особенно на высоте 0...1 км), составляющий ~5 %, в стратосфере – озоновый слой на высоте 10...50 км (особенно на высоте 30...50 км), составляющий ~95 %. Эти два слоя находятся в постоянном взаимодействии друг с другом.

В загрязненном приземном слое путем окисления летучих органических соединений в присутствии окислов азота и солнечного света образуется не только озон, но и другие продукты, например пероксиацетилнитрат, азотная кислота, альдегиды, органические кислоты и многие нестабильные радикалы [5].

С начала 70-х гг. XX в. в Европе работает Программа ЕМЕП (Европейская совместная программа мониторинга и оценки переноса воздушных загрязнений на большие расстояния). Озон измеряется по всей Европе как в сельских местностях (участки ЕМЕП), так и во многих городах. В России системные исследования по мониторингу приземного озона отсутствуют. Установлено, что вдоль Транссибирской магистрали концентрация озона постепенно возрастает в восточном направлении вследствие лесных пожаров, окисления выделяющегося метана в Сибири и трансграничного переноса продуктов горения из районов Северного Китая. Также на концентрацию озона значимый эффект оказывает взаимодействие стратосферного и тропосферного озона [3]. В течение полярного дня фотохимическая генерация озона ультрафиолетовым излучением Солнца является основным процессом, определяющим его содержание в приземном слое высокоширотной атмосферы. В то же время переход в режим полярной ночи приводит к сильному ослаблению суточной вариации содержания озона в приземном слое [1].

Озон является одним из наиболее опасных токсичных веществ. Всемирная организация здравоохранения включила его в список пяти основных загрязнителей, содержание которых необходимо контролировать при определении качества воздуха [4]. На человека озон оказывает общетоксическое, раздражающее, канцерогенное, мутагенное, генотоксическое действие [2]. Для растительности он не менее токсичен. Фитотоксический эффект тропосферного озона хорошо изучен. Показано, что он ведет к преждевременному старению растений и нарушению углеродного цикла из-за снижения фиксации

углекислоты [7]. На модельных растениях экспериментально установлено влияние тропосферного озона на физиологию, ростовые процессы, структуру листа, биохимию, молекулярные изменения, в том числе на экспрессию генов [14]. Критическим уровнем концентрации приземного озона для древесной растительности, приводящим к снижению ростовых процессов на 5 %, определено значение показателя АОТ 40* = 5,0 см³/(м³·ч) [16], ранее оно было установлено на уровне 10,0 см³/(м³·ч). Нами отмечено замедление ростовых процессов и возникновение видимых симптомов повреждения озоном у березы в фумигационных камерах при АОТ 40 = 10,7 см³/(м³·ч) [15]. В обзоре [10] показана зависимость снижения накопления биомассы у березы повислой с увеличением концентрации приземного озона от 0 до 90,0 см³/(м³·ч).

Изучение воздействия озона на сельскохозяйственные растения, имеющие важное продовольственное значение, и на основные лесобразующие породы, выполняющие важную функцию депонирования углерода в лесных экосистемах, проводилось либо в европейских странах, либо в странах Северной Америки. Подобные исследования в настоящее время практически отсутствуют в России, нет данных ни о воздействии озона на растительность, ни о характере и масштабах такого влияния.

Цель данной работы – исследовать реакцию сеянцев сосны и ели происхождением из разных регионов европейской части России на воздействие повышенной концентрации приземного озона на ранних этапах развития хвойных растений, основных пород-лесообразователей.

Материалы и методы

Воздействие озона изучалось на сеянцах сосны обыкновенной, представленной пятью происхождениями, из которых четыре из России: два района из Архангельской (Пинежский и Вельский), по одному из Нижегородской и Воронежской (южная граница ареала вида на европейской части России) областей (табл. 1). В эксперимент также были включены семена локальной популяции сосны обыкновенной (Куопио, Финляндия). Ель была представлена четырьмя происхождениями разных видов: ель европейская (популяции из района Куопио (Финляндия) и Новгородской области; семена ели сибирской были собраны в восточной части Архангельской области (Пинежский район); гибридная ель (Вельский район Архангельской области) занимает промежуточное происхождение по широте и долготе.

Сто семян каждого происхождения были посеяны в 5-литровые горшки, наполненные смесью песка и торфа в соотношении 1:3. Всего 72 горшка, которые сразу после посева семян были распределены по 8 экспериментальным площадкам. Эксперимент проводили в ботаническом саду Университета

* Accumulated ozone exposure over a threshold of 40 parts per billion (ppb) – совокупное воздействие, превышающее пороговое значение 40 мм³/м³ в дневное время суток в течение вегетационного периода.

Таблица 1

**Происхождение семян сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.),
ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.), ели европейской (*Picea abies* (L.) Karst.)
и гибридной ели (*Picea abies* (L.) Karst × *P. obovata* Ledeb.)**

Вид	Происхождение	Географические координаты
<i>Pinus sylvestris</i> L.	Пинежский район	64°48' с.ш., 43°17' в.д.
« «	Куопио (Финляндия)	62°35' с.ш., 28°10' в.д.
« «	Вельский район	61°06' с.ш., 42°17' в.д.
« «	Нижний Новгород	56°27' с.ш., 44°08' в.д.
« «	Воронеж	54°01' с.ш., 39°16' в.д.
<i>Picea obovata</i> Ledeb.	Пинежский район	65°01' с.ш., 42°47' в.д.
<i>P. abies</i> (L.) Karst.	Куопио (Финляндия)	62°48' с.ш., 26°32' в.д.
« « «	Новгород	58°31' с.ш., 31°20' в.д.
<i>P. abies</i> (L.) Karst × <i>P. obovata</i> Ledeb.	Вельский район	60°45' с.ш., 42°03' в.д.

г. Куопио (62°13' с.ш., 27°35' в.д.) на 4 открытых фумигационных площадках и 4 контрольных площадях [11]. Ежедневно горшки перемещали в пределах площадки для более равномерного влияния озона и других климатических факторов. Эксперимент проводили в течение двух вегетационных сезонов, в зимнее время горшки с сеянцами погружали в грунт и закрывали еловым лапником. Весной второго года вегетации сеянцы из каждого горшка были поделены на 3 части и пересажены в новые горшки, количество которых увеличилось до 216 шт. В период с мая по сентябрь фумигацию озоном осуществляли в течение 14 ч в сутки (с 8:00 до 22:00). В среднем за два сезона концентрация приземного озона на экспериментальных площадках превысила таковую на контрольных участках в 1,4 раза, составив 11,0 см³/(м³·ч).

Число проросших семян (в процентах к общему числу) было подсчитано через 2 нед. после их посева. Длину побега измеряли дважды: в начале и в конце каждого вегетационного сезона. По окончании эксперимента были определены длина хвои, абсолютно сухая масса хвои, побегов и корней (у 5 растений в каждой повторности).

Результаты и обсуждение

Исследования показали, что повышение концентрации озона в приземном слое атмосферы вызывает снижение количества проросших семян, особенно у сосны обыкновенной. Статистически достоверны различия в количестве проросших семян для сосны и ели между разными географическими происхождениями (табл. 2). Полученные нами результаты показывают, что семена северных популяций сосны более чувствительны к воздействию озона, чем южных популяций. Повышение концентрации приземного озона уменьшило число проросших семян у наиболее северных популяций сосны обыкновенной

Таблица 2

**Уровень статистической значимости влияния (Р значение)
повышенной концентрации озона и разного географического происхождения
семян, а также взаимодействия этих факторов на сеянцы
(многофакторный дисперсионный анализ)**

Показатель	Озон	Происхождение семян	Взаимодействие факторов
<i>Сосна обыкновенная</i>			
Количество проросших семян	0,013	0,000	0,425
Длина побега:			
июнь первого года	0,639	0,000	0,430
октябрь « «	0,694	0,000	0,784
июнь второго года	0,000	0,000	0,005
август « «	0,000	0,000	0,012
Длина хвои	0,484	0,000	0,122
Сухая масса:			
хвои	0,457	0,000	0,038
побегов	0,000	0,000	0,057
корней	0,009	0,027	0,004
Общая сухая масса растения	0,000	0,000	0,007
<i>Ель обыкновенная</i>			
Количество проросших семян	0,460	0,004	0,674
Длина побега:			
июнь первого года	0,909	0,004	0,970
октябрь « «	0,004	0,000	0,306
июнь второго года	0,830	0,701	0,570
август « «	0,672	0,826	0,127
Длина хвои	0,085	0,000	0,628
Сухая масса			
хвои	0,040	0,011	0,870
побегов	0,141	0,012	0,821
корней	0,097	0,330	0,431
Общая сухая масса растения	0,529	0,191	0,750

из Вельска и Пинеги. У ели число проросших семян статистически достоверно не изменялось под воздействием озона. Ранее проведенные исследования по прорастанию семян кукурузы (*Zea mays*) также свидетельствуют, что длительное воздействие озона ведет к снижению прорастания семян [18]. Это происходит во многом потому, что озон задерживает процессы клеточного деления и растяжения вновь образованных клеток. Негативный эффект воздействия озона был обнаружен и для березы бумажной (*Betula papyrifera*), у которой снижалась масса и всхожесть семян [8].

Для длины побегов были выявлены статистически значимые различия между разными географическими происхождениями, но для сосны это было характерно в течение двух сезонов вегетации, для ели – только в первый год (табл. 2). Повышенная концентрация приземного озона в течение первого

года вегетации не оказала воздействия на сеянцы сосны и ели. Во второй вегетационный сезон наблюдалось снижение скорости роста под воздействием озона у сосны всех географических происхождений уже в июне, в период наиболее активного роста побегов. В конце второго вегетационного сезона снижение прироста у сосны в среднем колебалось в пределах 14...66 % по сравнению с контрольными растениями. Длина побегов у ели ни в начале, ни в конце второго сезона вегетации не изменялась под воздействием озона. Исключением были сеянцы ели европейской происхождения из Новгородской области, у которой наблюдалась стимуляция роста к августу до 50 %.

Накопление сухой массы хвои под воздействием озона снижалось у наиболее северных популяций сосны из Пинежского и Вельского районов Архангельской области, а также локальной северной популяции сосны из района Куопио. При этом у сеянцев сосны более южного происхождения сухая масса хвои под влиянием озона не изменялась, аналогичная зависимость была отмечена в работе S. Manninen с соавторами [12]. У ели статистически значимых изменений в накоплении биомассы хвои, корней и побегов не выявлено, но отмечен тренд к увеличению содержания абсолютно сухой массы у всех происхождений ели, за исключением наиболее северной популяции из Пинежского района Архангельской области.

Таким образом, необходимо отметить наличие кумулятивного эффекта воздействия озона на ростовые процессы у хвойных растений. Подобное соотносится с данными J. Utriainen и T. Holopainen [17], которые показали снижение ростовых процессов и накопления биомассы побегов сосны обыкновенной только после трех лет фумигации озоном. Это снижение ростовых процессов у саженцев сосны сопровождалось преждевременным опадом хвои и изменениями в ультраструктуре клеток ассимиляционного аппарата. Для березы повислой также был обнаружен кумулятивный эффект воздействия озона, который сопровождался снижением интенсивности фотосинтеза, устойчивой проводимости, компенсаторных реакций защитных антиокислительных систем, что в свою очередь приводило к уменьшению накопления запасных питательных веществ (уменьшается количество и размеры гран крахмала в хлоропластах), а также к нарушениям закладки почек, что отражалось на росте и развитии растений в следующем вегетационном сезоне [13].

Повышение концентрации озона статистически значимо не повлияло на длину хвои как сосны, так и ели всех изученных нами географических происхождений, что подтверждает сделанный нами ранее вывод о стабильности этого показателя при воздействии других воздушных поллютантов [6].

Заключение

Нами установлено, что потомства популяций сосны обыкновенной более чувствительны к воздействию озона, чем потомства популяций ели, что согласуется с современными данными мета-анализа и данными обзоров по устойчивости лесной растительности к воздействию неблагоприятных факторов окружающей

среды [19]. Наши данные свидетельствуют о том, что возрастающая концентрация приземного атмосферного озона может нарушать процессы прорастания семян, роста сеянцев сосны и ели и иметь большие негативные последствия для лесовозобновления в будущем. Особенно эта проблема может стать актуальной для северных лесов, у которых, по-видимому, в экстремальных природных условиях система антиоксидантной защиты не может справиться с дополнительными стрессовыми факторами. В условиях высоких широт, когда период интенсивного роста растений происходит на фоне полярного дня, благоприятного для формирования озона в приземных слоях атмосферы, особенно в присутствии антропогенных выбросов – предшественников озона, его воздействие на лесные экосистемы может быть достаточно сильным.

Результаты по изучению роста сеянцев сосны и ели показывают достоверные различия в ответной реакции на воздействие озона у потомств разных популяций одного и того же вида хвойных. Но это только начало исследований реакции хвойных на воздействие озона на европейской части России, которые необходимо продолжать для установления более точных связей между ростовыми процессами и разными генотипами хвойных растений и влиянием приземного озона. Использованный нами градиентный географический подход при подборе популяций для исследования может дать возможность построения прогнозных моделей для оценки последствий воздействия такого стрессового фактора, как повышение концентрации приземного озона в атмосфере.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белоглазов М.И., Карпечко А.Ю., Никулин Г.Н., Ролдугин В.К., Румянцев С.А. О некоторых экологических аспектах проблемы атмосферного озона по результатам измерений на Кольском полуострове // Материалы конф. «Природопользование в Евро-Арктическом регионе: опыт XX века и перспективы», Апатиты, 2–4 ноября 2000 г. Апатиты: КНЦ РАН, 2001. С. 184–192.
2. Грушко Я.М. Вредные неорганические соединения в промышленных выбросах в атмосферу: справ. Л.: Химия, 1987. 207 с.
3. Панкратова Н.В., Еланский Н.Ф., Беликов И.Б., Лаврова О.В., Скороход А.И., Шумский Р.А. Озон и окислы азота в приземном воздухе северной Евразии по наблюдениям в экспериментах TROICA // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2011. Т. 47, № 3. С. 343–358.
4. Рекомендации ВОЗ по качеству воздуха, касающиеся твердых частиц, озона, двуокиси азота и двуокиси серы. Глобальные обновленные данные 2005 года. 2006. 31 с.
5. Руководство по методам и критериям согласованного отбора проб, оценки, мониторинга и анализа влияния загрязнения воздуха на леса. Ч. X. Мониторинг качества воздуха // Экономическая комиссия ООН для Европы. 2000. 28 с.
6. Тарханов С.Н., Прожерина Н.А., Коновалов В.Н. Лесные экосистемы бассейна Северной Двины в условиях атмосферного загрязнения: диагностика состояния. Екатеринбург: УрО РАН, 2004. 333 с.
7. Ashmore M.R. Assessing the future global impacts of ozone on vegetation // Plant, Cell and Environment. 2005. Vol. 28. P. 949–964.

8. Darbah J.N.T., Kubiske M., Nelson N., Oksanen E., Vapaavuori E., Karnosky D.F. Effects of decadal exposure to interacting elevated CO₂ and/or O₃ on paper birch (*Betula papyrifera*) reproduction // *Environmental Pollution*. 2008. Vol. 155. P. 446–452.
9. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Technical summary. Climate change 2007: The physical science basis // Cambridge University Press. 996 p.
10. Karlsson P.E., Braun S., Broadmeadow M., Elvira S., Emberson L., Gimeno B.S., Le Thiec D., Novak K., Oksanen E., Schaub M., Uddling J., Wilkinson M. Risk assessments for forest trees: The performance of the ozone flux versus the AOT concepts // *Environmental Pollution*. 2007. Vol. 146. P. 608–616.
11. Karnosky D.F., Werner H., Holopainen T., Percy K., Oksanen T., Oksanen E., Heerd C., Fabian P., Nagy J., Heilman W., Cox R., Nelson N., Matyssek R. Free-air exposure systems to scale up ozone research to mature trees. Review Article // *Plant Biology*. 2007. Vol. 9. P. 181–190.
12. Manninen S., Siivonen N., Timonen U., Huttunen S. Differences in ozone response between two Finnish wild strawberry populations // *Environmental and Experimental Botany*. 2003. Vol. 49. P. 29–39.
13. Oksanen E. Responses of selected birch (*Betula pendula*) clones to ozone change over time // *Plant, Cell and Environment*. 2003. Vol. 26. P. 875–886.
14. Overmyer K., Kollist H., Tuominen H., Betz C., Langebartels C., Wingsle G., Kangasjärvi S., Brader G., Mullineaux P., Kangasjärvi J. Complex phenotypic profiles leading to ozone sensitivity in *Arabidopsis thaliana* mutants // *Plant, Cell and Environment*. 2008. Vol. 31. P. 1237–1249.
15. Prozherina N., Freiwald V., Rousi M., Oksanen E. Interactive effect of springtime frost and elevated ozone on early growth, foliar injuries and leaf structure of birch (*Betula pendula* Roth) // *New Phytologist*. 2003. Vol. 159. P. 623–636.
16. UNECE. Mapping critical levels for vegetation. Chapter 3: Manual on methodologies and criteria for modelling and mapping critical loads and levels and air pollution effects, risks and trends. Umweltbundesamt. Berlin. Germany, 2004. 266 p.
17. Utriainen J. and Holopainen T. Nitrogen availability modifies the ozone responses of Scots pine seedlings exposed in an open-field system // *Tree Physiology*. 2001. Vol. 21. P. 1205–1213.
18. Violleau F., Hadjeba K., Albet J., Cazalis R., Surel O. Effect of oxidative treatment on corn seed germination kinetics // *Ozone: Science & Engineering*. 2008. Vol. 30. P. 418–422.
19. Wittig V.E., Ainsworth E.A., Naidu S.L., Karnosky D.F., Long S.P. Quantifying the impact of current and future tropospheric ozone on tree biomass, growth, physiology and biochemistry: a quantitative meta-analysis // *Global Change Biology*. 2009. Vol. 15. P. 396–424.

Поступила 05.02.14

UDC 630.181:[674.032.475.4/.7]

Tropospheric Ozone and Its Impact on the Early Growth and Development of Scots Pine and Spruce of Different Geographical Origins

N.A. Prozherina, Candidate of Biology, Senior Researcher

Institute of Ecological Problems of the North, Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 23, Arkhangelsk, 163000, Russia;
e-mail: pronad1@yandex.ru

The increasing human impact on environment has led to increasing greenhouse gases concentrations in the Earth atmosphere and changing the energy balance in the ecosystems. The aim of this study to investigate reaction of pine and spruce seedlings, originating from different regions of the European part of Russia on the effects of elevated concentrations of ground-level ozone on the early stages of the development of conifers. The experiment was conducted over two growing seasons in the Botanical Garden of the Kuopio University, Finland, on 4 control fields and 4 ozone fields. In ozone fields gas concentrations exceed the ambient in 1.4 times. Increasing ozone concentration in the atmospheric surface layer caused a decrease in the amount of germinated seeds, especially for Scots pine. Amount of germinated seeds of spruce under the ozone influence significantly did not change. Statistically significant differences of shoots length between the different geographical pine and spruce origins were found. The needles dry mass accumulation under ozone exposure was decreased mainly in the northern pine populations. Statistically significant changes in the spruce accumulation of needles, roots and shoots biomass did not found. However we observed trend to dry weight increasing in the all origins, except in the most northern population from the Pinega, the Arkhangelsk region. Elevated ozone concentrations did not significantly change pine and spruce needle length in all studied geographical origins. This is confirms our previous conclusion about the stability of this parameter under the impact of other air pollutants. Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) populations are more sensitive to ozone than of the Spruce (*Picea* spp.) populations. Elevating ozone in the atmospheric ground-level can destroy the germination of seeds and growth of Pine and Spruce seedlings. This can have large negative consequences on conifers regeneration in the future.

Keywords: tropospheric ozone, Scots pine, spruce, geographical origins, growth.

REFERENCES

1. Beloglazov M.I., Karpechko A.Yu., Nikulin G.N., Roldugin V.K., Rummyantsev S.A. O nekotorykh ekologicheskikh aspektakh problemy atmosfernogo ozona po rezul'tatam izmereniy na Kol'skom poluostrove [Some Ecological Aspects of the Problem of Atmospheric Ozone Measured in the Kola Peninsula]. *Prirodopol'zovanie v Evro-Arkticheskom regione opyt XX veka i perspektivy* [Nature in the Euro-Arctic Region, Experiences of the Twentieth Century and Prospects: Proc.Conf.]. Apatity, 2000, pp. 184–192.
2. Grushko Ya.M. *Vrednye neorganicheskie soedineniya v promyshlennykh vybro-sakh v atmosferu* [Harmful Inorganic Compounds in Industrial Emissions into the Atmosphere]. Leningrad, 1987. 207 p.
3. Pankratova N.V., Elanskiy N.F., Belikov I.B., Lavrova O.V., Skorokhod A.I., Shumskiy R.A. Ozon i okisly azota v prizemnom vozdukh severnoy Evrazii po nablyudeniya v eksperimentakh TROICA [Ozone and Nitrogen Oxides in the Ground Level in Northern Eurasia by the Observations in the Experiments TROICA]. *Fizika atmosfery i okeana*, 2011, vol. 47, no. 3, pp. 343–358.
4. *Rekomendatsii VOZ po kachestvu vozdukha, kasayushchiesya tverdykh chastits, ozona, dvoukisi azota i dvoukisi sery. Global'nye obnovlennye dannye 2005 god* [WHO Guidelines on Air Quality Related to Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide and Sulfur Dioxide. Global Update 2005]. 2006. 31 p.
5. Rukovodstvo po metodam i kriteriyam soglasovannogo otbora prob, otsenki, monitoringa i analiza vliyaniya zagryazneniya vozdukha na lesa. [Procedures and Criteria for Harmonized Sampling, Assessment, Monitoring and Analysis of the Impact of Air Pollution on Forests]. *Monitoring kachestva vozdukha* [Ambient Air Quality Monitoring]. 2000. 28 p.

6. Tarkhanov S.N., Prozherina N.A., Konovalov V.N. *Lesnye ekosistemy basseyna Severnoy Dviny v usloviyakh atmosfernogo zagryazneniya: diagnostika sostoyaniya* [Forest Ecosystems of the Northern Dvina Basin Under Atmospheric Pollution: Diagnosis of the State]. Ekaterinburg, 2004. 333 p.
7. Ashmore M.R. Assessing the future global impacts of ozone on vegetation. *Plant, Cell and Environment*, 2005, Vol. 28, pp. 949–964.
8. Darbah J.N.T., Kubiske M., Nelson N., Oksanen E., Vapaavuori E., Karnosky D.F. Effects of decadal exposure to interacting elevated CO₂ and/or O₃ on paper birch (*Betula papyrifera*) reproduction. *Environmental Pollution*, 2008, Vol. 155, pp. 446–452.
9. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Technical summary. Climate change 2007: The physical science basis. Cambridge University Press. 996 p.
10. Karlsson P.E., Braun S., Broadmeadow M., Elvira S., Emberson L., Gimeno B.S., Le Thiec D., Novak K., Oksanen E., Schaub M., Uddling J., Wilkinson M. Risk assessments for forest trees: The performance of the ozone flux versus the AOT concepts. *Environmental Pollution*, 2007, Vol. 146, pp. 608–616.
11. Karnosky D.F., Werner H., Holopainen T., Percy K., Oksanen T., Oksanen E., Heerd C., Fabian P., Nagy J., Heilman W., Cox R., Nelson N., Matyssek R. Free-air exposure systems to scale up ozone research to mature trees. Review Article. *Plant Biology*, 2007, Vol. 9, pp. 181–190.
12. Manninen S., Siivonen N., Timonen U., Huttunen S. Differences in ozone response between two Finnish wild strawberry populations. *Environmental and Experimental Botany*, 2003, Vol. 49, pp. 29–39.
13. Oksanen E. Responses of selected birch (*Betula pendula*) clones to ozone change over time. *Plant, Cell and Environment*, 2003, Vol. 26, pp. 875–886.
14. Overmyer K., Kollist H., Tuominen H., Betz C., Langebartels C., Wingsle G., Kangasjärvi S., Brader G., Mullineaux P., Kangasjärvi J. Complex phenotypic profiles leading to ozone sensitivity in *Arabidopsis thaliana* mutants. *Plant, Cell and Environment*, 2008, Vol. 31, pp. 1237–1249.
15. Prozherina N., Freiwald V., Rousi M., Oksanen E. Interactive effect of springtime frost and elevated ozone on early growth, foliar injuries and leaf structure of birch (*Betula pendula* Roth). *New Phytologist*, 2003, Vol. 159, pp. 623–636.
16. UNECE. Mapping critical levels for vegetation. Chapter 3: Manual on methodologies and criteria for modelling and mapping critical loads and levels and air pollution effects, risks and trends. 2004. Umweltbundesamt. Berlin. Germany. 266 p.
17. Utriainen J. and Holopainen T. Nitrogen availability modifies the ozone responses of Scots pine seedlings exposed in an open-field system. *Tree Physiology*, 2001, Vol. 21, pp. 1205–1213.
18. Violleau F., Hadjeba K., Albet J., Cazalis R., Surel O. Effect of oxidative treatment on corn seed germination kinetics. *Ozone: Science & Engineering*, 2008, Vol. 30, pp. 418–422.
19. Wittig V.E., Ainsworth E.A., Naidu S.L., Karnosky D.F., Long S.P. Quantifying the impact of current and future tropospheric ozone on tree biomass, growth, physiology and biochemistry: a quantitative meta-analysis. *Global Change Biology*, 2009, Vol. 15, pp. 396–424.

Received on February 5, 2014

УДК 630*164.7: 630*113

РЕПРОДУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЕЛИ ОБЫКНОВЕННОЙ В ГЕОГРАФИЧЕСКИХ КУЛЬТУРАХ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

© *И.А. Юдин^{1,2}, асп., инж.-таксатор*

О.А. Юдина¹, канд. с.-х. наук, доц.

Е.Н. Наквасина¹, д-р с.-х. наук, проф.

¹Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: nakvasina@yandex.ru

²Архангельский филиал ФГУП «Рослесинфорг», ул. Никитова, 13, г. Архангельск, Россия, 163062; e-mail: mrYudinG@gmail.com

Широкие возможности для изучения изменчивости ели открывают географические культуры, где представлено потомство географических рас двух видов ели и их интрогрессивных гибридов. Результаты дают возможность уточнить видовую принадлежность климатипов, факторы влияния генетики материнских провениенций на параметры и форму шишек. Цель исследования – выявить закономерности популяционной, видовой и географической изменчивости в размерах шишек ели обыкновенной различных видов и географических рас при выращивании в географических культурах, заложенных в 1977 г. в Плесецком лесничестве Архангельской области. Изучены климатипы из 28 географических районов из ареалов произрастания ели европейской, ели сибирской и зоны их интрогрессивной гибридизации в европейской части России, от северной подзоны тайги до южной подзоны смешанных и северной подзоны лиственных лесов, от Прибалтики до Урала. Сбор шишек для исследования проводили в конце октября – начале ноября 2012 г., при сборе определяли урожайность и параметры (масса, длина, ширина) шишек, повреждение вредителями и болезнями. Отмечены слабый урожай шишек у ели сибирской и средний у ели европейской (по глазомерной шкале Каппера). Выявлено, что 10 ... 40 % шишек ели различного происхождения повреждены вредителями. Исследования показали, что межвидовая изменчивость по параметрам шишек сохраняется. Климатипы сибирской ели по сравнению с елью европейской и гибридными формами имеют меньшие размеры шишек и наибольший диапазон по изменчивости длины и ширины шишки. Самые крупные шишки у ели европейской из южных областей, гибридные формы занимают промежуточное положение. Прослеживается четкая тенденция увеличения массы, длины и ширины шишек от ели сибирской к ели европейской. Разница между двумя видами по размерам и массе шишки доказана на 95 %-м уровне значимости. Два вида ели имеют значимые различия по всем параметрам шишек. Между интрогрессивными гибридами ели показатели достаточно близкие и не имеют существенных различий по размерам и массе шишек. Видовые различия по коэффициенту формы шишек сглажены. Масса и размеры шишек имеют значимую и достоверную корреляцию с восточной долготой (коэффициент корреляции от $-0,661$ до $-0,457$), но слабую с северной широтой (от $-0,075$ до $-0,169$) мест заготовки семян. Связь размеров и массы шишки с климатическими показателями в местах произрастания материнских насаждений находится ниже уровня значимости и является недостоверной. Это может быть связано с видовым разнообразием и путями миграции ели сибирской и европейской на Европейский Север после валдайского оледенения. Установлено, что в одинаковых

условиях произрастания в один год репродукции сохраняется наследственно обусловленная видовая, популяционная и географическая изменчивость. Изучение размеров и массы шишек у климатипов ели в географических культурах Архангельской области, представленных елью сибирской, елью европейской и их интрогрессивными гибридами, показало, что перемещенные в другие условия они сохранили генетическую память при формировании репродуктивных органов (независимо от дальности переброски семян).

Ключевые слова: географические культуры, ель сибирская, ель европейская, шишки, изменчивость.

Известно, что на территории Восточной Европы широко распространены популяции ели, у которых размеры шишек имеют изменчивость в довольно большом диапазоне [10]. Для изучения изменчивости ели эта территория представляет огромный интерес как зона интрогрессивной гибридизации елей сибирской и европейской.

Широкие возможности для исследований открывают географические культуры, заложенные по единой программе и методике ВНИИЛМ в 70-х гг. XX в. [2]. В них представлено потомство географических рас двух видов ели и их интрогрессивных гибридов, к настоящему времени вступивших в репродукцию. Первые результаты о репродуктивных особенностях ряда потомств ели в географических культурах Архангельской области были получены авторами ранее [1].

Уникальность объекта (географических культур) дает возможность исследовать одновременно урожай шишек по видам ели из различных географических зон, полученный в одинаковых климатических условиях. Результаты позволяют уточнить видовую принадлежность климатипов, факторы влияния генетики материнских провениенций на параметры и форму шишек. Изучение репродукции климатипов в географических культурах важно также с точки зрения совершенствования лесосеменного районирования основных лесобразующих пород [5]. В этой связи внимания заслуживают потомства, способные быстро адаптироваться к новым условиям произрастания, вступать в генерацию и давать качественный семенной материал, обеспечивая потенциал для самовозобновления. Наряду с научным интересом, данные о размерах шишек имеют прикладной характер, поскольку длина шишек связана с количеством семян [7–9].

Цель исследования – выявить закономерности популяционной, видовой и географической изменчивости шишек ели обыкновенной различных видов и рас при выращивании в географических культурах в средней подзоне тайги.

Объекты и методика

Сбор шишек проводили в конце октября – начале ноября 2012 г. Для каждого климатипа собрано с разных деревьев (не менее 20) более 50 шт. шишек. В основном шишки находились в вершинной части деревьев, поэтому при проведении работ применяли различные методы: отстрел ветвей с шишками

из ружья, подъем сборщика по стволу дерева в крону, обрезка ветвей с шишками секатором, реже – наземные ходовые линии для сбора опавших шишек. Одновременно была определена урожайность шишек по балльной шкале Каппера [3], принятой в лесохозяйственной практике.

В год исследования отмечена средняя урожайность шишек. Шишки собраны у 27 климатипов из 28 (потомство ижевского климатипа (ель гибридная с признаками сибирской) не вступило в репродукцию), из них 7 – представители ели европейской (*Picea abies* (L.) Karst.), 10 – ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.), по 5 гибридных форм – ели европейской и сибирской, происхождением из зоны интрогрессивной гибридизации. Вид ели и распределение гибридных форм по отношению к виду установлены по Л.Ф. Правдину [10], согласно паспортам государственного реестра географических культур.

В лабораторных условиях длину и ширину шишек измеряли с точностью до 0,01 мм электронным штангенциркулем ТОУА, массу – на электронных весах АНД НЛ-100 (точность прибора 0,01 г). Учитывали повреждаемость шишек энтомофагами [11]. Рассчитывали коэффициент формы шишек через отношение ширины к длине. Данные обработаны в программах Excel и IBM SPSS Statistics.

Результаты и обсуждение

Для климатипов северных и южных регионов при выращивании в географических культурах созданы равные климатические условия, что в какой-то степени нивелирует параметры роста и развития отдельных органов растений, в том числе и шишек. Однако различия в климатических показателях территорий произрастания материнских популяций и района произрастания культур отразились в проявлении репродуктивных особенностей в потомстве. Так, в условиях Плесецкого лесничества Архангельской области вегетационный период у ели местного происхождения в среднем составляет около 130 дн., сумма температур выше +5 °С – 1810 °С, годовое количество осадков – до 530 мм. Для ели сибирской в Мурманской области эти показатели соответственно 90 дн., 1220 °С, 460 мм, для ели европейской в Эстонской Республике – 180 дн., 2200 °С, 600 мм.

По глазомерной балльной шкале Каппера урожайность у всех интродуцентов ели сибирской оценена в 3 балла, кроме мурманского климатипа, у которого шишки отмечены единично, и карельских климатипов, у которых урожайность шишек для отдельных деревьев достигала 4 баллов. В тоже время ель европейская пряжинского, пудожского, тосненского, великолукского, даувгав-пилского, вильядинского происхождений имеет урожайность в среднем несколько выше, чем ель сибирская – 3-4 балла. Остальные климатипы ели европейской и ее гибридов из южной подзоны тайги, северной подзоны смешанных лесов, южной подзоны смешанных лесов имеют урожай 3 балла в основном на опушечных и свободностоящих деревьях. В целом балл урожайности по климатипам снижается по мере удаления изначальных мест происхождения семенного материала на север и восток от места их испытания.

У шишек ели отмечена повреждаемость энтомо вредителями. Обнаружено повреждение чешуй еловых шишек листоверткой (*Laspeyresia illutana* H.-S.), еловой шишковой мухой (*Pegohylemyia anthracina* Czerny), еловой побего-шишковой огневкой (*Dioryctria abietella* Schiff.), огневкой Шютца (*Dioryctria schützeella* Fuchs.). Чаще повреждение шишек встречалось у видов ели сибирской пермского происхождения, ели гибридной с признаками европейской из Карелии и Нижегородской области (30...40 %). Около 10 % шишек ели гибридной с признаками сибирской повреждено у климатипов медвежьегогорского, плесецкого (местный вариант), а также у ели европейской ленинградского, московского происхождений. Отсутствуют повреждения шишек у потомств ели, перемещенных из Костромской, Псковской, Свердловской, Вологодской, Мурманской областей, Республики Коми, Эстонской Республики и Латвийской Республики.

Результаты, полученные при изучении параметров шишек ели, приведены в табл. 1.

Исследования показали, что средняя длина шишек ели в коллекции имеет довольно большие различия: от 5,60 до 9,50 см. В целом средняя длина шишек всех инорайонных вариантов варьирует в пределах ± 30 % относительно местного (плесецкого) климатипа. Внутрипопуляционная изменчивость по длине находится в пределах 7,0...19,0 %. Наибольшая изменчивость (коэффициент изменчивости C_v) длины шишек отмечена у нижнетагильского потомства из южной подзоны тайги, минимальная – у медвежьегогорского, слободского и сосногорского климатипов, тогда как среднее значение изменчивости в коллекции составляет 12,3 %, у большинства климатипов (16 из 27) показатель находится в пределах от 10,0 до 16,0 %. Наименьшую длину шишек (5,57 и 5,61 см) имеют климатипы ели сибирской пермско-свердловского происхождения, наибольшую (9,76 и 9,48 см) – ели европейской ленинградского и тверского происхождений. Достаточно крупные размеры шишек отмечены у ели сибирской пинежского (8,90 см) и холмогорского (8,30 см) происхождений, перемещенных из северной в среднюю подзону тайги, что говорит об отзывчивости потомства на улучшение климатических характеристик при выращивании. У ели гибридной с признаками европейской длина шишек карельских климатипов (средняя подзона тайги) на 20 % больше, чем у климатипов из южной подзоны тайги (вологодский, костромской) и северной подзоны смешанных лесов (нижегородский).

Ширина шишек в целом по коллекции климатипов также имеет четкие различия. Наименьшая ширина отмечена у ели сибирской (мурманский вариант) – 1,35 см, наибольшая (2,91 см) – у ели европейской из Тверской области. У климатипов ели сибирской по сравнению с елью европейской меньше размеры шишек (в среднем на 22 %) и диапазон изменчивости (4,1...16,4 %). Гибридные потомства ели по ширине шишек занимают промежуточное положение.

При ранжировании по массе шишек первые места занимает ель европейская псковского, ленинградского происхождений и близкие к ней гибриды карельского (пудожский климатип) происхождения. Наименьшая масса шишек отмечена у ели сибирской свердловского, пермского, мурманского климатипов.

Таблица 1

Характеристика шишек ели в географических культурах 1977 г. (репродукция 2012 г.)

Лесорастительная подзона [4]	№ пункта	Область, республика	Лесхоз*/лесничество	Урожайность ели, балл по Калперу	Параметры оценки шишек							Коэффициент формы	
					Длина, см	S _ш , %	Ширина, см	S _п , %	Масса, г	S _ш , %	Ранг по массе		
Северная подзона тайги	1	Мурманская	Мончегорский	Ед.	6,65±0,40	10,1	1,35±0,11	13,0	8,85±0,66	11,1	24	0,20	
	20	Архангельская	Пинежский	3	8,91±0,21	11,7	2,24±0,03	7,5	18,21±0,41	9,6	8	0,25	
	23		Холмогорский	3	8,33±0,15	8,1	2,33±0,02	4,1	19,54±0,97	14,0	5	0,28	
	25	Коми	Корткеросский	3	7,15±0,12	10,8	2,08±0,03	11,8	10,61±0,46	17,9	20	0,29	
	26		Сосногорский	3	6,97±0,13	8,1	2,01±0,05	11,1	11,60±0,71	19,6	17	0,30	
	38	Пермский	Красновишерский	2	6,48±0,09	10,7	1,84±0,03	8,1	7,34±0,21	13,2	26	0,28	
	40	Свердловская	Карлинский	3	7,41±0,11	9,7	2,02±0,03	7,8	9,75±0,44	14,4	21	0,27	
	39	Пермский	Добринский	3	6,42±0,14	12,9	2,14±0,06	16,3	9,73±0,77	27,4	23	0,33	
41	Свердловская	Нижнетагильский	3	5,57±0,13	19,3	1,49±0,04	16,4	7,56±0,53	28,4	25	0,26		
42		Тавдинский	3	5,61±0,11	17,2	1,52±0,05	15,6	7,25±0,23	15,9	27	0,27		
Средняя подзона тайги	2	Карелия	<i>Гибридная с признаками сибирской</i>		Ед.	7,87±0,17	17,2	2,16±0,04	15,2	9,76±0,79	30,3	22	0,27
	1х		3-4	Сеgezский	3-4	8,62±0,14	7,2	2,28±0,03	10,1	13,88±0,74	24,8	14	0,26
	19		3	Мелвезьгорский	3	7,85±0,16	11,5	2,16±0,06	15,5	17,97±1,51	29,2	7	0,27
	22		3	Плесецкий	3	7,07±0,15	11,0	2,09±0,05	13,4	12,55±0,50	17,6	16	0,30
	28		3	Котласский	3	8,09±0,12	7,5	2,13±0,07	18,3	13,47±0,42	14,7	15	0,26
Средняя подзона тайги	3	Карелия	<i>Гибридная с признаками европейской</i>		Ед.	8,77±0,17	13,7	2,32±0,03	10,0	11,11±1,04	28,0	19	0,26
	4		3-4	Пряжнинский	3-4	9,39±0,15	8,6	2,17±0,04	11,5	22,13±1,05	14,4	3	0,23
	24		3	Пудожский	3	7,90±0,16	15,3	2,62±0,04	13,9	15,08±1,01	21,3	11	0,33
	27		3	Черовецкий	3	7,36±0,15	10,6	1,95±0,06	15,4	11,29±0,94	36,1	18	0,26
	31		3	Галицкий	3	7,85±0,15	15,6	2,11±0,05	12,1	14,96±0,60	4,0	13	0,27
Южная подзона смеш. лесов	5	Нижегородская	<i>Европейская</i>		Ед.	9,76±0,22	15,7	2,48±0,03	10,1	22,81±1,21	23,8	2	0,25
	6х		3-4	Тосненский	3-4	8,31±0,19	13,4	2,11±0,06	16,6	16,66±1,80	18,9	9	0,25
	7		3-4	Лисинский	3-4	9,48±0,23	12,0	2,56±0,05	9,7	24,48±1,27	26,6	1	0,28
	30		3	Псковская	3	8,67±0,15	11,8	2,91±0,05	12,5	19,44±0,75	11,0	6	0,33
	8		3-4	Тверская	3-4	8,08±0,17	12,5	2,09±0,07	20,6	14,98±0,82	19,1	12	0,24
	10		3-4	Вильяндский	3-4	8,95±0,20	13,9	2,90±0,08	15,9	19,89±0,79	19,6	4	0,32
	29		3	Даугавпилский	3	8,36±0,24	16,1	2,33±0,05	12,6	14,87±1,48	35,6	10	0,28
			3	Московская	3	8,36±0,24	16,1	2,33±0,05	12,6	14,87±1,48	35,6	10	0,28
			3	Солнечногорский	3	8,36±0,24	16,1	2,33±0,05	12,6	14,87±1,48	35,6	10	0,28
			3	Солнечногорский	3	8,36±0,24	16,1	2,33±0,05	12,6	14,87±1,48	35,6	10	0,28

*Названия лесхозов сохранены согласно государственному реестру географических культур на 1977-1978 гг.

Особенностью урожая 2012 г. являются шишки климатипов из Пинежского и Холмогорского районов Архангельской области (северная подзона тайги). Они выделяются среди потомств ели сибирской и в целом по коллекции своими размерами, занимая при ранжировании по показателю массы 5-й и 8-й ранг соответственно (табл. 1). Можно предположить, что сказалось влияние перемещения в более благоприятные климатические и лесорастительные условия.

Форма шишек – материнский признак и полностью передается по наследству. Коэффициент формы шишки (отношение ширины к длине) обычно используют для выделения классов по форме шишек [6], однако в пределах изученной коллекции климатипов ели различия по этому коэффициенту невелики (0,20...0,33) и не связаны с зональностью и видами ели.

Различие между видами ели и их интрогрессивными гибридами по параметрам шишек наглядно показано в табл. 2.

Таблица 2

Параметры шишек в зависимости от видового происхождения ели

Вид ели	Длина, см	Ширина, см	Масса, г	Коэффициент формы
Сибирская	6,95 ± 0,74	1,90 ± 0,21	10,04±0,39	0,28
Гибридная с признаками:				
сибирской	7,90 ± 0,84	2,16 ± 0,23	13,53±0,40	0,27
европейской	8,25 ± 0,88	2,23 ± 0,25	14,91±0,57	0,28
Европейская	8,36 ± 0,85	2,28 ± 0,30	19,02±0,53	0,28

Прослеживается четкая тенденция увеличения массы, длины и ширины шишек от ели сибирской к ели европейской. Разница между двумя видами по размерам и массе шишки доказана на 95 %-м уровне значимости (табл. 3). Два вида ели имеют значимые различия по всем параметрам шишек. Между интрогрессивными гибридами ели показатели достаточно близкие и не имеют существенных различий по размерам и массе шишек ($t_{\text{факт}} = 0,60...0,82$), отличия интрогрессивных гибридов от основного вида не достоверны. Так, не отмечены существенные различия по параметрам шишек между потомствами видов ели сибирской и гибридов с признаками ели сибирской и между потомствами видов ели европейской и гибридами с признаками ели европейской.

Отмечается достоверное различие (95 %) по длине шишек ели сибирской от гибридов ели европейской и ели европейской от гибридов ели сибирской, видимо, за счет включения в геном части аллелей другого вида при гибридизации. Одновременно ель европейская имеет значимое отличие (табл. 3) от ели гибридной с признаками сибирской по массе и длине шишки, что свидетельствует о большем влиянии вида ели сибирской в генах и устойчивости его к влиянию гибридизации.

Таблица 3

Показатель различия (t) между видами ели и интрогрессивными гибридами по параметрам шишек

Сравниваемые виды (гибриды) ели	Масса	Длина	Ширина
Сибирская – европейская ($t_{005} = 2,13$)	4,30	4,11	3,51
Сибирская – гибридная с признаками сибирской ($t_{005} = 2,16$)	1,12	1,91	1,72
Сибирская – гибридная с признаками европейской ($t_{005} = 2,16$)	1,61	2,36	1,91
Гибридная с признаками сибирской – гибридная с признаками европейской ($t_{005} = 2,31$)	0,61	0,82	0,60
Европейская – гибридная с признаками европейской ($t_{005} = 2,23$)	2,00	1,32	1,41
Европейская – гибридная с признаками сибирской ($t_{005} = 2,23$)	3,20	2,51	2,11

Примечание. Жирным шрифтом выделены достоверные данные.

Кроме видовой принадлежности, на формирование репродуктивных органов ели определенное влияние оказывают и условия, в которых формировался климатип. Связь параметров шишек с географическими и климатическими показателями мест заготовки семян приведена в табл. 4.

Таблица 4

Корреляционные зависимости между географическими координатами и климатическими условиями мест происхождения материнских климатипов ели и параметрами шишек

Показатель	Масса	Длина	Ширина	Коэффициент формы шишек
Северная широта, град	-0,176	0,075	-0,169	-0,453
Восточная долгота, град	-0,661	-0,637	-0,457	-0,177
Сумма температур выше +5 °С, °С	0,169	-0,039	0,257	0,527
Годовое количество осадков, мм	0,081	0,202	0,256	0,085

Примечание. Жирным шрифтом выделена корреляция, значимая на уровне 95 %.

Из данных табл. 4 видно, что масса и размеры шишек имеют значимую и достоверную корреляцию с восточной долготой (коэффициент корреляции $r = -0,661 \dots -0,457$), но слабую с северной широтой мест заготовки семян ($-0,075 \dots -0,169$). Это может быть связано с видовым разнообразием и путями миграции ели сибирской и европейской на Европейский Север после валдайского оледенения. Согласно П.П. Попову [9] имеется географическое разделение популяций ели по средним показателям шишек на уровне экологической изменчивости. В нашем случае это подтверждается тем, что корреляция с географическим положением климатипов выражена более значительно в пределах вида. Коэффициенты корреляции между массой шишки и северной широтой и восточной долготой составляют для ели сибирской 0,442 и $-0,526$,

для ели европейской $-0,280$ и $-0,402$ соответственно и находятся на уровне значимости. У ели сибирской отмечена также высокая достоверная связь длины шишки с географическими координатами: $r = -0,666$ – с восточной долготой, $r = 0,505$ – с северной широтой.

Связь размеров и массы шишки с климатическими показателями в местах произрастания материнских насаждений находится ниже уровня значимости и является недостоверной. Несмотря на отмеченную выше незначительную изменчивость в пределах коллекции коэффициента формы шишки, установлена его достоверная корреляционная связь с северной широтой ($r = -0,453$) и с суммой температур выше $+5$ °С в местах произрастания материнских насаждений ($0,527$), что может быть связано не с видовой изменчивостью ели, а с географическим местоположением исходных насаждений (см. табл. 1).

Таким образом, при изучении размеров и массы шишек у 27 климатипов ели в географических культурах Архангельской области установлено, что при изменении условий произрастания и выращивании в однотипных лесорастительных и климатических условиях в потомстве ели обыкновенной, представленной елью сибирской, елью европейской и их интрогрессивными гибридами, сохраняются наследственно обусловленные особенности в размерах и массе репродуктивных органов (шишек). Климатипы северного происхождения, представленные елью сибирской и близкими к ней гибридами, формируют мелкие шишки, тогда как потомства климатипов ели европейской и близких к ней гибридов сохраняют крупную размерность. На видовом уровне различия достоверны. Влияние географического местоположения и условий мест формирования популяции ели обыкновенной в большей степени проявляется в пределах ареала распространения видов и близких к ним интрогрессивных гибридов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гвоздихина О.А.* Географические культуры ели в Архангельской области: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Архангельск, 2004. 20 с.
2. Изучение имеющихся и создание новых географических культур // Программа и методика работ. Пушкино: ВНИИЛМ, 1972. 52 с.
3. *Каппер В.Г.* Лесосеменное дело. Л.: Гослестехиздат, 1936. 133 с.
4. *Курнаев С.Ф.* Лесорастительное районирование СССР. М.: Лесн. пром-сть, 1973. 240 с.
5. Лесосеменное районирование основных лесобразующих пород в СССР. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 368 с.
6. *Мамаев С.А.* Формы внутривидовой изменчивости древесных растений. М.: Наука, 1972. 284 с.
7. *Молчанов А.А.* География плодоношения главнейших древесных пород. М.: Наука, 1967. 103 с.
8. *Попов П.П.* Ель на востоке Европы и в Западной Сибири: популяционно-географическая изменчивость и ее лесоводственное значение. Новосибирск: Наука, 1999. 169 с.

9. Попов П.П. Ель европейская и сибирская // Структура, интеграция и дифференциация популяционных систем. Новосибирск: Наука, 2005. 231 с.
10. Правдин Л.Ф. Ель европейская и ель сибирская в СССР. М.: Наука, 1975. 189 с.
11. Стадницкий Г.В. Вредители семян ели. М.: Лесн. пром-сть, 1971. 48 с.

Поступила 28.05.14

UDC 630*164.7: 630*113

Reproductive Features of Norway Spruce in Geographical Cultures of the Arkhangelsk Region

I.A. Yudin^{1,2}, Postgraduate Student, Afforestation Inspector

O.A. Yudina¹, Candidate of Agriculture, Associate Professor

E.N. Nakvasina¹, Doctor of Agriculture, Professor

¹Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russia; e-mail: nakvasina@yandex.ru

²FSUE «Roslesinform» Arkhangelsk Branch, Nikitova, 13, Arkhangelsk, 163062 Russia; e-mail: mrYudinG@gmail.com

Great opportunities for studying of spruce variability open geographical cultures, which presents the offspring of geographical races of two species of spruce and their introgressive hybrids. The results give an opportunity to clarify the species belonging climatotypes, factors of influence of genetics parent provenances on the parameters and the form of cones. The purpose of the study - to identify patterns of population, species and geographic variation in size of spruce cones of different species and geographic races when it is grown in geographical cultures embodied in 1977 in the Plesetsk forestry of the Arkhangelsk region. Climatotypes of 28 geographical areas of habitats of upgrowth of european spruce, siberian spruce and their introgressive hybridization zone in the European part of Russia, from the northern to the southern taiga subzone and the subzone of mixed northern hardwood forest, from the Baltic to the Urals, were studied. Spruce has entered into reproduction, which gives the opportunity to explore simultaneously yield of cones on spruce species from different geographic areas, resulting in the same climatic conditions. Collection of material for research, cones, was held in late October - early November 2012. When collecting cones yield, damage of pests or diseases, cones parameters (weight, length, width) were determined. Poor yield of cones by Siberian spruce and average by European spruce were marked (on eye-measured scale of Capper). From 10 to 40% of cones of different spruce origin was marked defect of pests or diseases. Studies have shown that interspecific variability in the cones parameters is continued. Smaller cones have climatotypes of Siberian spruce compared with European spruce and hybrid forms. They also have the greatest range in variability in the length and width of the cones. The biggest cones – is at the spruce from southern regions, hybrid forms occupy an intermediate position. There is a distinct tendency of increasing of the cones mass, length and width of Siberian spruce to European spruce. The difference between the two species in cones size and weight is proved to 95% significance level. Two species of spruce have significant differences in all cones parameters. Between spruce introgression hybrids indicators are close enough and have no significant differences in the size and mass of cones. Species differences in cones form coefficient are smoothed. Weight and sizes of the cones have meaningful and significant correlation with the eastern longitude

(correlation coefficient from -0.661 to -0.457), but weak on the northern latitude of harvesting seeds locations (from -0.075 to -0.169). Cones size and weight connection with climatic parameters in the locations of the parent plants is below the significance level and is unreliable. This may be due to the diversity of species and migration ways of Siberian spruce and European on the European North after the Valdai glaciation. Thus, it has been found that, under identical conditions of growth in one year reproduction the hereditary species, population and geographical variability is retained. Studying of the cones size and weight in 27 spruce climatotypes in geographical cultures of the Arkhangelsk region, represented by Siberian spruce, European spruce and their introgression hybrids, showed, when moving to other conditions they have retained the genetic memory of the formation of the reproductive organs, regardless of distance of seeds transfer.

Keywords: geographical cultures, Siberian spruce, European spruce, cones, variability.

REFERENCES

1. Gvozdukhina O.A. *Geograficheskie kul'tury eli v Arkhangel'skoy oblasti: avtoreferat dis. ... kand. s.-kh. nauk* [Geographical Cultures of Spruce in the Arkhangelsk Region: Avtoreferat DissCand.Agric.Sci]. Leningrad, 2004. 20 p.
2. *Izucheniye imeyushchikh i sozdanie novykh geograficheskikh kul'tur* [Study of Existing and Creation of New Geographical Cultures]. Pushkino, 1972. 52 p.
3. Kapper V.G. *Lesosemennoe delo* [Forest Seed Work]. Leningrad, 1936. 133 p.
4. Kurnaev S.F. *Lesorastitel'noe rayonirovaniye SSSR* [Forest Structural Zoning of USSR]. Moscow, 1973. 240 p.
5. *Lesosemennoe rayonirovaniye osnovnykh lesoobrazuyushchikh porod v SSSR* [Forest Seed Zoning of Major Tree Species in the USSR]. Moscow, 1982. 368 p.
6. Mamayev S.A. *Formy vnutrividovoy izmenchivosti drevesnykh rasteniy* [Forms of Intraspecific Variation of Woody Plants]. Moscow, 1972. 289 p.
7. Molchanov A.A. *Geografiya plodonosheniya glavneyshikh drevesnykh porod* [Geography of Fruiting of Main Tree Species]. Moscow, 1967. 103 p.
8. Popov P.P. *El' na vostokey Evropy i v Zapadnoy Sibiri: Populyatsionno-geograficheskaya izmenchivost' i ee lesovodstvennoye znachenie* [Spruce in the East Europe and Western Siberia: Population-Geographic Variation and Its Silviculture Value]. Novosibirsk, 1999. 169 p.
9. Popov P.P. *El' evropeyskaya i sibirskaya* [European and Siberian Spruce]. *Struktura, integratsiya i differentsiatsiya populyatsionnykh sistem* [Structure, Integration and Differentiation of Population Systems]. Novosibirsk, 2005. 231 p.
10. Pravdin L.F. *El' evropeyskaya i el' sibirskaya v SSSR* [European and Siberian Spruce in the USSR]. Moscow, 1975. 189 p.
11. Stadnitskiy G.V. *Vrediteli semyan eli* [Pests of Spruce Seeds]. Moscow, 1971. 48 p.

Received on May 28, 2014

УДК 631.4:631.811.944

ЖЕЛЕЗО В ГРУНТОВЫХ И ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ

© *В.В. Полякова, асп.*

С.-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, пер. Институтский, 5, г. С.-Петербург, Россия, 194021; e-mail: v.v.p.i53@bk.ru

Железо относится к микроэлементам, участвующим в процессе фотосинтеза. Его недостаток или избыток в почве и грунтовой воде негативно влияет на условия роста и развития растений. Высокое содержание двухвалентного (закисного) железа в грунтовой воде может вызвать закупоривание дрен на осушаемых территориях железистым осадком, что отрицательно сказывается на гидрологических условиях роста и развития растений. В открытых каналах парка С.-Петербургского государственного лесотехнического университета наблюдается обильный рыжий осадок, свидетельствующий о большом количестве железа в грунтовой воде. Результаты исследований показали более высокое содержание общего и двухвалентного железа в грунтовой воде по сравнению с водой прудов. Поток грунтовых вод проходит через железосодержащие минералы и породы, которые приносят железо в воду, а вода прудов представлена преимущественно атмосферными осадками. Установлено, что в грунтовой воде, расположенной близко к поверхности земли, двухвалентного железа больше, чем в воде более низких горизонтов, частично за счет массы органического вещества в верхних слоях почвы и низкой кислотности. Наблюдаются различия количества двухвалентного железа в грунтовой воде в зависимости от сезона. В грунтовой воде на уровне корнеобитаемого слоя концентрация подвижного железа находится в допустимых для нормального роста растений пределах. К концу периода вегетации отмечено заиливание дренажных труб железистым осадком, составляющее до 40 % от общей площади выходного отверстия. Это снижает пропускную способность труб и ухудшает гидрологические условия роста растений.

Ключевые слова: общее железо, двухвалентное (закисное) железо, грунтовая вода, парк С.-Петербургского государственного лесотехнического университета.

Железо – микроэлемент, оказывающий разностороннее влияние на жизнь растений. Оно поступает в растение из почвы и грунтовой воды и участвует в процессе фотосинтеза. Его недостаток или избыток в почве и грунтовой воде негативно сказывается на росте, развитии и состоянии растений. Высокое содержание растворимого железа в гидроморфных почвах может также приводить к нарушениям в работе дренажных систем за счет заиливания труб железистым осадком, выпадающим в процессе окисления закисного железа до окисного [2, 4, 10, 12]. В результате подъема грунтовых вод происходит подтопление корней, которое в свою очередь ведет к гибели растений.

Исследования были проведены в 2013 г. в парке С.-Петербургского государственного лесотехнического университета (СПбГЛТУ), где было выявлено, что в большинстве открытых каналов осушения присутствует обильный рыжий осадок, свидетельствующий о высоком содержании железа в воде.

Целью исследований являлась оценка динамики общего (сумма двухвалентных и трехвалентных ионов) и двухвалентного (закисного) железа в грунтовых водах из скважин и воде открытых водоемов (прудов).

Методикой исследований было предусмотрено изучение содержания железа в грунтовой воде на разной глубине. Для этого были заложены две скважины (1 и 2) глубиной 5 м, расположенные в верхней части парка, и четыре скважины (3 и 4, 5 и 6) глубиной 1 м, расположенные в нижней части парка, в нижнем дендросаду. Установлено, что в глубоких скважинах уровень грунтовых вод постоянно наблюдается на глубине 2,5...3,5 м. В скважинах нижней части парка уровень грунтовых вод более динамичен, находится под влиянием выпадающих атмосферных осадков и колеблется от 15 до 50 см. Также определялось железо в воде прудов, уровень которых поддерживается атмосферными и частично выходящими на поверхность грунтовыми водами [15].

В целях определения общего железа в осенний период было отобрано 10 проб воды (конец периода вегетации), в целях определения двухвалентного железа – 12 проб (6 – летом (середина периода вегетации), 6 – осенью (конец периода вегетации)). Пробы отбирали в стеклянные бутылки с притертыми стеклянными пробками и анализировали в течение 1 ч для снижения потери двухвалентных соединений за счет окисления на воздухе.

Общее железо в воде фиксировали визуально-колориметрическим методом (по ГОСТ 4011–72, МВИ-01-190-09, ПНД Ф 14.1:2.4.259–2010) с использованием тест-комплекта ЗАО «Крисмас+» [14], двухвалентное железо – методом объемного определения ионов закисного железа, описанным А.А. Резниковым и Е.П. Муликовской [1].

В таблице приведены результаты определения общего и двухвалентного (закисного) железа в пробах воды из скважин и прудов.

Большое количество железа в грунтовой воде на глубине 2,5...3,5 м, можно объяснить ожелезнением грунтовых потоков в истоках и на пути продвижения в почвенной толще за счет внесения соединений железа из минералов и горных пород. В грунтовой воде с близким залеганием к поверхности много железа за счет разложения большого количества железосодержащих металлических примесей в этом слое почвы [5]. Например, в 30-сантиметровом слое почвы на участке площадью 1 м² по средним статистическим данным находится до 15 г железосодержащих примесей, что в пересчете на общую площадь парка составляет до 9,5 т.

Вода прудов парка представлена преимущественно водой атмосферных осадков. Имеющееся количество железа могло быть привнесено частично выходящими на поверхность грунтовыми потоками с высоким содержанием железа.

Анализ данных таблицы показал, что как и общего, так и закисного железа больше в грунтовой воде, чем в воде прудов.

Содержание общего и закисного железа в воде парка СПбГЛТУ

Показатель	Значение показателя в различных частях парка									
	Верхняя часть						Нижняя часть			
	Скважина 1	Скважина 2	Длинный пруд	Скважина 3	Скважина 4	Скважина 5	Скважина 6	Пруд в нижнем дендросаду	Цветочный пруд	Иорданский пруд
Уровень грунтовых вод, м	3,50	2,50	–	0,15	0,50	0,15	0,30	–	–	–
Содержание железа, мг/л:										
общего (Fe ²⁺ + Fe ³⁺)	3,00	3,00	0,15	4,50	2,80	3,00	1,50	1,00	0,15	0,20
двухвалентного (Fe ²⁺)	<u>0,95</u>	<u>0,67</u>	<u>0,28</u>	<u>4,46</u>	...	...	<u>8,37</u>	...	...	<u>0,28</u>
	0,06	0,06	0,11	0,17	...	...	0,22	...	...	0,11

Примечания. 1. Прочерк – отсутствие уровня грунтовых вод, три точки – отсутствие данных. 2. В числителе приведены данные, полученные в летний период, в знаменателе – в осенний.

Установлено, что грунтовая вода горизонтов, расположенных близко к поверхности, содержит больше железа Fe⁺², чем вода более глубокого залегания. Это можно объяснить тем, что в верхних слоях почвы находится большое количество органического вещества, которое способствует повышению растворимости соединений железа [2, 3, 5–7]. Исследование агрохимических показателей почвы парка в 2013 г. показало, что в нижней его части содержится до 18 % органики, кислотность солевой вытяжки почвы составляет 5,1. Ближе к поверхности в почве отмечается большое количество железосодержащих примесей.

Наблюдается тенденция снижения содержания железа к концу периода вегетации, что характеризует сезонность изменения концентрации растворимого железа [6, 8, 11].

Г.Я. Ринькис [13] в качестве оптимальной концентрации растворимого железа в почве, необходимой для нормального функционирования растений, принимал 5,00 мг/л. Отклонение от данного значения в сторону недостатка или избытка отрицательно влияет на рост и развитие растений, вызывает хлороз листьев [6, 9].

Анализ грунтовой воды, отобранной с глубины 30 см, показал, что в середине периода вегетации содержание растворимого железа в воде на этой глубине почти в 2 раза больше оптимального значения (8,37 мг/л), т. е. возможен риск нарушения в росте и развитии растений. В грунтовой воде на глубине 15 см этот показатель близок к оптимальному (4,46 мг/л). К концу периода вегетации отмечено снижение концентрации железа.

В парке в начале периода вегетации видимых признаков заиливания дренажных отверстий не наблюдалось, к середине периода вегетации закупоривание дренажных отверстий составило 5 % от общей площади выходного отверстия, осенью некоторые дренажные трубы были закупорены железистым осадком почти на 40 %.

Таким образом, в парке СПбГЛТУ в грунтовой воде содержание общего и закисного железа выше, чем в воде открытых водоемов.

Грунтовая вода, залегающая близко к поверхности, содержит закисного железа больше, чем вода на большей глубине, однако концентрация его находится в допустимых для нормального питания растений пределах. К концу периода вегетации концентрация закисного железа снижается.

В конце периода вегетации наблюдается некоторое ухудшение в работе дренажных систем за счет заиливания железистым осадком.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ минерального сырья / Под общ. ред. Ю.Н. Книповича, Ю.В. Морачевского. 2-е изд. Л.: Ленгосхимиздат, 1956. 1056 с.
2. *Водяницкий Ю.Н.* Химия и минералогия почвенного железа. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН, 2002. 236 с.
3. *Возбуцкая А.Е.* Химия почвы. 3-е изд., испр. и доп. М.: Высш. шк., 1968. 428 с.
4. *Добрынин Ю.А.* Вероятностные модели процессов заиливания осушительных каналов гидромелиоративных систем // Изв. СПбЛТА. 2007. Вып. 180. С. 103–110.
5. *Зонн С.В.* Железо в почвах (генетические и географические аспекты). М.: Наука, 1982. 208 с.
6. *Иляетдинов А.Н.* Биологическая мобилизация минеральных соединений. Алма-Ата: Наука, 1966. 332 с.
7. *Китаева Л.И.* Связь между содержанием железа, цинка, марганца, количеством гумуса и кислотностью в почвах Пензенской области // Почвоведение. М.: Наука, 1990. Вып. 9. С. 132–135.
8. *Куликова В.К.* Сезонные изменения химических свойств подзолистых песчаных почв // Почвы сосновых лесов Карелии. Петрозаводск, 1978. С. 71–85.
9. *Лир Х., Польстер Г., Фидлер Г.-Н.* Физиология древесных растений. М.: Лесн. пром-сть, 1974. 424 с.
10. *Матинян Н.Н., Мышкина И.В., Немчинова И.А.* Экологические условия заохривания дренажных систем Неманской низменности // Эколого-генетические исследования почв в гумидных ландшафтах: сб. ст. СПб.: СПбУ, 1996. С. 3–18.
11. *Морозова Р.М.* Почвообразование на песчаных отложениях Карелии // Почвы сосновых лесов Карелии. Петрозаводск, 1978. С. 4–43.
12. *Мотузова Г.В., Дегтярева А.К.* Формы соединений железа в почвенных растворах и дренажных водах на примере Яхромской поймы // Почвоведение. 1993. Вып. 1. С. 110–114.
13. *Ринькис Г.Я.* Значение взаимовлияния элементов в оптимизации минерального питания растений // Микроэлементы в комплексе минерального питания растений. Рига: Зинанте, 1975. С. 16–28.

14. Руководство по анализу воды. Питьевая и природная вода, почвенные вытяжки. Изд. 2-е, перераб. СПб.: «Крисмас+», 2012. 264 с.

15. Яковлев С.А. Геологическое строение местности парка Лесного института / Изв. Ленингр. лесн. ин-та. Л.1: ЛЛИ, 1929. Вып. 37. С. 219–235.

Поступила 07.04.14

UDC 631.4:631.811.944

Iron in the Surface and Ground Waters

V.V. Polyakova, Postgraduate Student

Saint Petersburg State Forest Technical University named under S.M. Kirov, Institutskiy per., 5, Saint-Petersburg, 19402, Russia; e-mail: v.v.p.i53@bk.ru

Iron is an microelement, involved in the process of photosynthesis. Its scarcity or excess affects negatively on plants growth. High content of bivalent ferrous oxide in ground water can exert the clogging of drain lines on drain territories by ferrous precipitation, that negatively affect on hydrologic conditions of plants growth. There is observed abundant red ferruginous sediment in open channels in the park of the Forestry University. In groundwater general and bivalent iron more than in pond water. Ground stream get through mineral and species, contained iron, that import iron in water, and pond water is with an atmospheric condensation. In groundwater, located close to the surface of the earth, bivalent iron is more, than in water at a greater depth. There is seasonal dynamics of bivalent iron in groundwater. The concentration of bivalent iron in groundwater is optimal for normal growth and development of plants. By the end of vegetation period occurred silting of drainage pipes by 40 %. This violates the hydrological conditions of growth and development of plants.

Keywords: general iron, bivalent iron, underground water, park of Forestry University.

REFERENCES

1. Knipovich Yu.N., Morachevskii Yu.V. *Analiz mineral'nogo syr'ya* [Analysis of Mineral Raw Material]. Leningrad, 1956. 1056 p.
2. Vodyanitskiy Yu.N. *Khimiya i minerologiya pochvennogo zheleza* [Chemistry and Mineralogy of the Soil Iron]. Moscow, 2002. 236 p.
3. Vozbutskaya A. E. *Khimiya pochvy* [The Chemistry of the Soil]. Moscow, 1968. 428 p.
4. Dobrynin Yu.A. Veroyatnostnye modeli protsessov zaileniya osushitel'nykh kanalov gidromeliorativnykh sistem [Probabilistic Models of Silting Processes of Drainage Channels of Reclamation Systems]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii*, Saint-Petersburg, 2007, no. 180, pp. 103–110.
5. Zonn S.V. *Zhelezo v pochvakh (geneticheskie i geograficheskie aspekty)* [Iron in Soils (Genetic and Geographical Aspects)]. Moscow, 1982, no. 9. 208 p.
6. Ilyaletdinov A.N. *Biologicheskaya mobilizatsiya mineral'nykh soedineniy* [Biological Mobilization of Mineral Compounds]. Alma-Ata, 1966. 332 p.

7. Kitaeva L.I. Svyaz' mezhdru sodержaniem zheleza, tsinka, margantsa, kolichestvom gumusa i kislotnost'yu v pochvakh Penzenskoy oblasti [The Relationship Between the Concentrations of Iron, Zinc, Manganese, Quantity of Humus and Acidity in the Soil of the Penza region]. *Pochvovedenie*, Moscow, 1990, pp. 132–135.

8. Kulikova V.K. Sezonnnye izmeneniya khimicheskikh svoystv podzolistykh peschanykh pochv [Seasonal Changes of the Chemical Properties of Podzolic Soils]. *Pochvy sosnovykh lesov Karelii* [Soils of Pine Forests in Karelia]. Petrozavodsk, 1978, pp. 71–85.

9. Lir Kh., Pol'ster G., Fidler G.N. *Fiziologiya drevesnykh rasteniy* [Physiology of Woody Plants]. Moscow, 1974. 424 p.

10. Matinyan N.N., Myshkina I.V., Nemchinova I.A. Ekologicheskie usloviya zaokhrivaniya drenazhnykh system Nemanskoj nizmennosti [Ecological Conditions of Drainage Systems Soiling in the Neman Lowland]. *Ekologo-geneticheskie issledovaniya pochv v gumidnykh landshaftakh* [Ecological and Genetic Researches of Soils in Humid Landscapes: Collected Papers]. Saint-Petersburg, 1996, pp. 3–18.

11. Morozova R.M. Pochvoobrazovanie na peschanykh otlozheniyakh Karelii [Soil Formation on Sandy Sediments of Karelia]. *Pochvy sosnovykh lesov Karelii* [Soils of Pine Forests in Karelia]. Petrozavodsk, 1978, pp. 4–43.

12. Motuzova G.V., Degtyareva A.K. Formy soedineniy zheleza v pochvennykh rastvorakh i drenazhnykh vodakh na primere Yakhromskoy poymy [Forms of Iron Compounds in the Soil Solutions and Drainage Waters on the Example of Yakhroma Floodplain]. *Pochvovedenie*, Moscow, 1993, no.1, pp. 110–114.

13. Rin'kis G.Ya. Znachenie vzaimovliyaniya elementov v optimizatsii mineral'nogo pitaniya rasteniy [The Value of the Interaction of Elements in the Optimization of the Mineral Nutrition of Plants]. *Mikroelementy v komplekse mineral'nogo pitaniya rasteniy* [Microelements in the Complex of Mineral Nutrition of Plants]. Riga, 1975, pp. 16–28.

14. *Rukovodstvo po analizu vody. Pit'evaya i prirodnyaya voda, pochvennye vytyazhki* [Manual on Analysis of Water. Drinking and Natural Water, Soil Extraction]. Saint-Petersburg, 2012. 264 p.

15. Yakovlev S.A. Geologicheskoe stroenie mestnosti parka Lesnogo Instituta [Geology of the Area of the Park Forest Institute]. *Izvestiya Leningradskogo Lesnogo Instituta*, Leningrad, 1929, no. 37, pp. 219–235.

Received on April 07, 2014

УДК 630*232.4+630*231.1

РОСТ *PINUS SIBIRICA* DU TOUR В КУЛЬТУРАХ И ПОД ПОЛОГОМ СОСНОВО-БЕРЕЗОВЫХ ЛЕСОВ В ПОДТАЕЖНОЙ ЗОНЕ ЗАПАДНОГО САЯНА

© *Н.Ю. Сташкевич, асп.*

Институт леса им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения РАН, Академгородок № 50, стр. 28, г. Красноярск, Красноярский край, Россия, 660036; e-mail: nicke1_08@mail.ru

Оценка состояния культур кедр в подтаежном поясе предгорий Западного Саяна и их сравнение с подростом кедр естественного происхождения на смежном участке молодого березово-соснового леса орляково-разнотравного показали необходимость и целесообразность проведения лесокультурных мероприятий в поясе подтайги. Подрост кедр 15-летнего возраста под пологом заметно ниже лесных культур того же возраста (1,1 м против 2,6 м), характеризуется меньшими годовыми приростами (3,9 см против 27,6 см) и редким охвоением. Согласно данным лесоустройства, численность подроста под пологом сосново-лиственных насаждений на отдельных участках подтаежного пояса варьирует в пределах 300...850 экз./га, достигая 1,0...1,5 тыс. экз./га. Периодические низовые пожары, уничтожающие кедровый подрост, конкуренция со стороны быстрорастущих сосны обыкновенной и березы повислой, а также несанкционированные рубки и отсутствие ухода за культурами противодействуют успешному расширению ареала кедр в этом поясе. Для распространения популяции черневого кедр в подтайге необходимы: проведение ухода за кедром в молодняках с его участием, охрана лесов от пожаров, создание культур кедр и дальнейший уход за ними.

Ключевые слова: сосна кедровая сибирская, подтайга, лесные культуры, естественное возобновление.

Западно-саянская популяция черневого кедр уникальна [2], ее особенности и роль в поддержании биоразнообразия лесных сообществ детально освещены в литературных источниках [6, 12]. Вследствие активных рубок 1930–1980-х гг. площадь черневых кедровников заметно сократилась. Восстановить кедровую формацию в прежних границах за счет увеличения доли кедр в составе древостоя и формирования высокопродуктивных кедровников призваны мероприятия по проведению рубок ухода и санитарно-реконструктивных рубок, реализация методов химического ухода за молодняками, закладка лесных культур.

Полоса контакта светло- и темнохвойного поясов в предгорьях Саян является нижней границей ареала кедр в горах Южной Сибири [10]. Недостаточная влажность климата в весеннее время и регулярные пожары обуславливают незначительную долю кедр в подтаежных лесах, лимитируют его расселение в окружающие сосново-березовые мезофильно-травяные типы леса. Кроме того, пожары могут провоцировать вспышки массового размножения насекомых-вредителей, что приводит к ускоренному выпадению пихты и кедр

ра. Между тем, практика лесного хозяйства свидетельствует о ряде успешных экспериментов по созданию искусственных посадок кедра на участках вырубок и ныне не используемых землях сельскохозяйственного пользования в предгорьях Саян, за пределами его естественного ареала. Однако исследователи отмечают, что при высокой сохранности саженцев прирост кедра в культурах, заложенных в предгорной подтайге, обычно заметно меньше, чем в культурах в горном темнохвойном поясе [3].

Цель – анализ состояния культур кедра в подтаежном поясе предгорий Западного Саяна, созданных на участках вырубок и сельскохозяйственных площадях, а также сравнение его с состоянием подростка кедра естественного происхождения на смежном участке молодого березово-соснового леса орляково-разнотравного. Это позволит оценивать эффективность создания культур в подтайге и с известной долей вероятности прогнозировать успешность дальнейшего развития кедра на нижней границе его ареала.

Исследования проводили на территории Танзыбейского участкового лесничества Ермаковского лесничества, относящегося к Джебашско-Амьельскому округу черневых и горно-таежных пихтовых и кедровых лесов Северной Алтае-Саянской горной лесорастительной провинции, в предгорьях хребта Кулумыс (подтаежный высотно-поясной комплекс типов леса) [13].

Климат подтаежного пояса характеризуется следующими параметрами: сумма активных температур за период с температурами выше 10 °С составляет 1800 °С, годовая сумма осадков – около 580...700 мм, коэффициент увлажнения (по Мезенцеву) – 1,0...1,2 [7]. Подтаежные леса занимают предгорные увалы и пологие шлейфы склонов разных экспозиций. Почвы горные серые и темно-серые лесные в сочетании с дерново-подзолистыми развиваются на лессовидных суглинках и глинах. Широко распространены в подтайге сосняки, осинники и березняки осочково-разнотравные III класса бонитета, а также орляково-разнотравные I-II классов бонитета. На более влажных участках произрастают сосняки и березняки орляково-крупнотравные и орляково-вейниковые I-II классов бонитета, в условиях периодической сухости – сосняки остепенно-разнотравные III-V классов бонитета [13].

В качестве объектов исследования были взяты культуры кедра, расположенные на границе 8-го и 9-го кварталов Танзыбейского участкового лесничества (Ермаковское лесничество) вблизи бывшей д. Савельевка. Здесь весной 2000 г. на площади 18 га в предварительно подготовленные борозды были высажены рядами 3-летние кедры, выращенные в Ермаковском питомнике. Специальная предварительная обработка почвы не проводилась. Расстояние между рядами 3,5 м. В настоящее время расстояние между кедрами в рядах варьирует от 0,6 до 6,0 м.

В 2012 г. у кедров в посадках были измерены высоты и диаметры, отмечено их состояние и наличие следов болезней и вредителей, у части экземпляров учтены приросты. При оценке состояния за основу была взята классифи-

кация Т.А. Москалюк [5], в соответствии с которой были приняты следующие критерии:

«отличное состояние» – подрост густо охвоен, прирост в высоту максимальный для данной группы высот, ствол без изъянов;

«хорошее состояние» – экземпляры здоровые, нормально развитые, но у стволика может наблюдаться смена вершинок, незначительная кривизна;

«удовлетворительное состояние» – прирост по высоте слабый, кроны редкие, нередко состоят из 1-2 ветвей, характерны единичные сухие побеги и пучки сухой хвои, смена вершинок;

«слабо угнетенные экземпляры» – прирост по высоте очень слабый или отсутствует, много сухих побегов, характерна частая смена вершинок, охвоенное слабое, наблюдаются следы повреждения болезнями или вредителями;

«угнетенные экземпляры» – прироста текущего года нет, живые ветви единичны, вершинки усохшие, кора стволика повреждена, большая часть хвои повреждена болезнями или вредителями;

«погибшие экземпляры».

Для сравнения была заложена пробная площадь под пологом примыкающего к культурам березово-соснового леса орляково-разнотравного с обильно представленным естественным возобновлением кедра. Выбранный участок расположен на северо-западном слегка выпуклом склоне крутизной 3...5°. Состав древостоя – 7СЗБ, сомкнутость – 0,5...0,6. В составе подлеска (проективное покрытие 35 %) наиболее обильны *Padus avium* (15 %), *Salix caprea* (10 %), *Sorbus sibirica* (5 %) и *Rosa majalis* (3 %).

На пробной площади выявлено 55 видов травянистых растений. Их суммарное проективное покрытие составляет 55 %, средняя высота – 0,3 м. Наиболее распространены *Rubus saxatilis* (30 %), *Fragaria vesca* (15 %), *Pteridium pinetorum* (7 %) и *Viola canina* (3 %).

Учет кедрового подроста производили по методике А.В. Побединского [9] и согласно действующих Правил лесовосстановления [11]. При учете определяли возраст, высоту и состояние подроста.

В ходе исследований 15-летних культур в Ермаковском районе было измерено 105 экз. молодых кедров. Высота их варьирует от 0,8 до 7,0 м (средняя высота 2,6 м). Высокая вариабельность высоты культур (коэффициент вариации 46,3 %) обусловлена конкурентными взаимоотношениями с появившейся сосной, а также внутри самой популяции кедра вследствие его высокой генетической изменчивости. Для последних 3 лет характерны следующие приросты в высоту, см: 2010 г. – 23, 2011 г. – 29, 2012 г. – 30. Для большей части культур характерно «хорошее» (51 %) и «удовлетворительное» (34 %) состояние. «Угнетенное» состояние проявляется в замедлении роста, искривлении ствола, обилии соснового хермеса (54 %). На отдельных экземплярах встречаются раковые образования (3 %).

Особенности развития культур свидетельствуют о высокой жизнестойкости кедров, произрастающих на открытых участках.

При учете возобновления кедра под пологом примыкающего к культурам березово-соснового леса орляково-разнотравного зафиксировано 13 650 экз./га мелкого, 5 150 экз./га среднего, 500 экз./га крупного подроста и 330 экз./га кедрового молодняка (количество подроста сосны составляет лишь 2 480 экз./га при пересчете в крупный). Подрост кедра 15-летнего возраста заметно ниже лесных культур (1,0...1,1 м), характеризуется меньшими годовыми приростами (3...6 см против 15...50 см у культур). Кедр в культурах отличаются довольно рыхлыми, но оформленными пирамидальными кронами, тогда как у подроста под пологом охвоение редкое, представленное единичными пучками хвои, кроны асимметричные. На культурах хвоя сохраняется в течение 4...5 лет, у подроста под пологом – всего 1...2 года. При меньшей развитости габитуса следов хермеса на подросте под пологом насаждения не обнаружено, наблюдаются лишь единичные раковые образования (у 3 % сеянцев), усыхание вершин и отдельных боковых побегов (у 14 %).

Отмеченное под пологом сосново-березового древостоя обилие кедрового подроста может считаться предельно высоким для подтайги и в целом не типично для подтаежного пояса. Так, согласно данным лесоустройства 1970 г., его численность в подтайге варьирует в пределах 300...850 экз./га. Обилие подроста на конкретном участке описания обусловлено, очевидно, деятельностью кедровки, устраивающей кладовые орехов, принесенных с кедров из близлежащих насаждений (кедры в культурах еще не плодоносят). Согласно данным лесоустройства 1970 г., в подтаежном поясе Танзыбейского лесничества были представлены единичные мелкие участки черневых кедровников с участием кедра 7...10 ед. в составе насаждения, занимавшие в совокупности лишь 1,0 % лесной территории. Об их черневом характере свидетельствует наличие в составе древостоя пихты и осины, в травяном ярусе – господства крупнотравно-папоротниковой и вейниковой синузий, а также примесь гипновых мхов, подтверждающая повышенную влажность почвы в данных местобитаниях. Большая часть кедровников была приурочена к долинам и низинам и представлена деревьями 260 лет, высотой 20...28 м (кварталы 13, 14, 32 и др.). Расстояние от культур до данных площадей составляет в среднем 9,0 км.

В целом возобновление кедра в подтайге немногочисленно. Данные лесоустройства 1970 г. свидетельствуют о наличии кедрового подроста на 40,0 % площади подтаежного пояса в границах Танзыбейского лесничества, причем, на половине этой территории доля кедра в составе подроста не превышает 5 ед.

По материалам лесоустройства 1995 г. выделов с высоким участием кедра в составе не зафиксировано. На участках, близких по условиям черневому поясу, они сменились пихтово-осиновыми производными насаждениями, на более сухих – сосново-березовыми. Оставшиеся кедр единичны (1-2 ед. по запасу) на участках прежнего произрастания (кварталы 8, 13, 14 и 32), в 10 км от изучаемых культур (граница с черневым поясом проходит на расстоянии 6,5...7,5 км от изучаемых объектов). Данная ситуация характерна для 16,0 % площади подтаежного пояса в границах Танзыбейского лесничества. Кедрового подроста также стало заметно меньше: доля кедра в составе

подроста ≥ 5 ед. характерна лишь для 12,5 % площади подтаежного пояса в границах Танзыбейского лесничества, причем часть этой территории представляет собой участки лесных культур кедр, впоследствии превратившиеся в смешанные насаждения с кедровым подростом и единичными кедром в древесном пологе. Такая судьба типична для культур кедр, оставшихся без ухода [1, 4]. Единичные сохранившиеся кедром возраста 80 лет и более на всех упомянутых участках выступают основным источником семян для естественного возобновления кедром.

Экологические условия подтаежного пояса низкогорий хребта Кулумыс достаточно благоприятны для развития кедром, что подтверждается накоплением кедрового подроста под пологом естественных насаждений и наличием на 1970 г. выделов с участием кедром в составе более 7 ед. Их отсутствие при последующих учетах лесного фонда объясняется следующими причинами: изменение конфигурации и укрупнение выделов, отставание кедром в росте по сравнению с сосной и березой в молодом и приспевающем возрасте.

Изученные культуры кедром превосходят его подрост под пологом примыкающего к культурам березово-соснового леса орляково-разнотравного по всем ключевым характеристикам: по высоте (в 2 раза), по ежегодным приростам в высоту (в 5–8 раз), по оформленности и охвоенности крон (в культурах – рыхлые, но оформленные пирамидальные кроны, у подроста под пологом охвоение редкое, представленное единичными пучками хвои), по продолжительности жизни хвои (у культур хвоя держится на 2 года дольше) и пр. По состоянию культуры кедром и подрост кедром под пологом 15 лет и старше сопоставимы: для половины обследованных экземпляров культур и подроста характерно «хорошее» состояние, для трети – «удовлетворительное».

Основной причиной отсутствия либо низкой доли кедром в составе подтаежных сосняков и березняков вблизи границы с черневыми кедровниками являются периодические низовые пожары, обусловленные ранневесенней сухостью и обилием растительных горючих материалов (соснового опада, травяной ветоши и веток). В периоды между пожарами под пологом подтаежных лесов появляется незначительное количество мелкого и среднего кедрового подроста, обусловленное деятельностью кедровки. По мере развития подроста возрастает роль конкуренции со стороны быстрорастущих сосны обыкновенной и березы повислой. Помимо этого, за последние 40 лет большая часть мозаичных участков черневых кедровников в подтайге была утрачена, в результате чего заметно сократилась семенная база для пополнения численности подпологового возобновления кедром. Несанкционированные рубки и отсутствие ухода за культурами обусловили уменьшение площади кедровой формации в подтаежном поясе.

Для содействия распространению популяции черневого кедром в подтайге необходим комплекс мер:

создание культур кедром (как на открытых участках, так и под пологом насаждений), а также дальнейший уход за ними, включающий регулярное

удаление травянистой растительности, прореживание (выбор наиболее жизнеспособных экземпляров и обеспечение им оптимальных условий роста) и химическую обработку молодых кедров (профилактика и лечение больных экземпляров);

охрана лесов от пожаров, что позволит естественному возобновлению кедров сформировать устойчивое молодое поколение, в дальнейшем переходящее в состав древостоя;

проведение рубок ухода и меры по химическому уходу за молодняками кедров (обработка крон, базальная и инъекционная обработка стволов), выполнение которых направлено на увеличение доли кедров в существующих лесных насаждениях за счет удаления нежелательной древесной растительности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ермоленко, П.М., Овчинникова Н.Ф. Рост кедров в культурах под пологом березняка в черневом поясе Западного Саяна // Ботанические исследования в Сибири. Красноярск: Вост.-Сиб. НЦ РАН, 1996. Вып. 5. С. 42–48.
2. Красная книга Красноярского края. В 2 т. Т. 2: Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды дикорастущих растений и грибов / Отв. ред. Н.В. Степанов; 2-е изд., перераб. и доп. Красноярск: Сибирский фед. ун-т, 2012. С. 334.
3. Лоскутов Р.И. Искусственное восстановление кедров сибирского. М.: Лесн. пром-сть, 1971. 105 с.
4. Лоскутов Р.И., Поликарпов Н.П. Выращивание посадочного материала кедров сибирского в лесных питомниках // Возобновление в лесах Сибири. Красноярск: Красн. кн. изд-во, 1965. С. 186–223.
5. Москалюк Т.А. Курс лекций по экологии. Владивосток: Ботан. сад ДВО РАН, 2005. Режим доступа: <http://old.botsad.ru/p-papers.htm> (accessed 26 November 2013).
6. Назимова Д.И., Исмаилова Д.М. Проблемы и перспективы сохранения популяции черного кедров (*Pinus sibirica* Du Tour) в Западном Саяне // Горные экосистемы Южной Сибири: изучение, охрана и рациональное природопользование: тр. Тигирекского заповедника. Вып. 3. Барнаул, 2010. С. 147–151.
7. Назимова Д.И., Коротков И.А., Чередникова Ю.С. Основные высотнопоясные подразделения лесного покрова в горах Южной Сибири и их диагностические признаки // Структура и функционирование лесных биогеоценозов Сибири. М.: Наука, 1987. С. 30–67.
8. Павлов И.Н., Барабанова О.А. О формировании устойчивых лесных культур // Лесн. хоз-во. 2006. № 3. С. 31–33.
9. Побединский А.В. Изучение лесовосстановительных процессов (методические указания). Красноярск: Ин-т леса и древесины СО АН СССР, 1962. 61 с.
10. Поликарпов Н.П. Комплексные исследования в горных лесах Западного Саяна // Вопросы лесоведения: Красноярск: Красноярское кн. изд-во, 1970. Т. 1. С. 26–79.
11. Правила лесовосстановления: утв. приказом МПР России от 16.07.2007 № 183.
12. Семечкин И.В., Поликарпов Н.П., Ирошников А.И., Бабинцева Р.М., Воробьев В.Н., Дашко Н.В., Иванов В.В., Кондаков Ю.М., Короткова И.А., Мурина Т.К., Назимова Д.И., Попов В.Е., Попова Ю.М., Соколов Г.А., Софронов М.А., Смолин В.Н.,

Спиридонов В.С., Четакова Н.М., Чередникова Ю.С. Кедровые леса Сибири. Новосибирск: Наука, 1985. 258 с.

13. Типы лесов гор Южной Сибири /Отв. ред. В.Н. Смагин. Новосибирск: Наука, 1980. 336 с.

Поступила 26.01.14

UDC 630*232.4+630*231.1

The Growth of *Pinus Sibirica* du Tour in Croppers and in Overstorey of Mixed Pine-Birch Forests of Subtaiga Zone in the West Sayan

N.Yu. Stashkevich, Postgraduate Student

V.N. Sukachev Institute of Forest Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Akademgorodok, 50/28, Krasnoyarsk, 660036, Russia; e-mail: nicke1_08@mail.ru

The state estimation of Siberian pine saplings in subtaiga zone of the West Sayan piedmonts and their comparison with Siberian pine undergrowth on the adjacent lot of young mixed pine-birch and bracken-various grass forest show the necessity and the expediency of silvicultural actions in this zone. Siberian pine undergrowth of 15 years old is lower than contemporary artificial stands (1,1 m against to 2,6 m). It is characterized by less annual growths (3,9 cm against to 27,6 cm) and rare needle coating. According to forest inventory data the quantity of *Pinus sibirica* regeneration in mixed pine-deciduous forests varies within the limits of 300-850 examples/ha, with 1000-1500 examples/ha on some lots in subtaiga zone. Periodic ground fires, destroying Siberian pine undergrowth, Scotch pine and birch competition as well as unauthorized fellings and the absent maintenance of artificial stands counteract the successful extension of Siberian pine areal in subtaiga zone. Realization of young growth maintenance, fire prevention as well as organization of forest cultures plantations and their further supporting are required to assist the spreading of Siberian pine in subtaiga zone.

Keywords: Siberian pine, subtaiga zone, artificial stands, natural regeneration.

REFERENCES

1. Ermolenko P.M., Ovchinnikova N. F. Rost kedra v kul'turakh pod pologom berezynyaka v chernevom poyase Zapadnogo Sayana [Growth of Cedar Pine in Croppers Under the Canopy of Birch Forest in the Chern Zone of the Western Sayan]. *Botanicheskie issledovaniya v Sibiri*, Krasnoyarsk, 1996, vol. 5, pp. 42–48.
2. Stepanov N.V. Krasnaya kniga Krasnoyarskogo kraya [Red Book of Krasnoyarsk Territory]. *Redkie i nakhodyashchiesya pod ugrozoy ischeznoveniya vidy dikorastushchikh rasteniy i gribov* [Rare and Threatened Species of Wild Plants and Mushrooms]. Krasnoyarsk, 2012, vol. 2, 334 p.
3. Loskutov R.I. *Iskusstvennoe vosstanovlenie kedra sibirskogo* [Artificial Restoration of Siberian Stone Pine]. Moscow, 1971. 105 p.
4. Loskutov R.I., Polikarpov N.P. Vyrashchivanie posadochnogo materiala kedra sibirskogo v lesnykh pitomnikakh [Cultivation of Planting Material of the Siberian Siberian

Stone Pine in Forest Tree Nurseries]. *Vozobnovlenie v lesakh Sibiri* [Renewal of the Forests of Siberia]. Krasnoyarsk, 1965, pp. 186–223.

5. Moskalyuk T.A. *Kurs lekciy po ekologii* [Lectures on ecology] Available at: http://old.botsad.ru/p_papers.htm (accessed 26 November 2013).

6. Nazimova D.I., Ismailova D.M. Problemy i perspektivy sokhraneniya populyatsii chernovogo kedra (*Pinus sibirica* Du Tour) v Zapadnom Sayane [Problems and Prospects of Preservation of the Chern Siberian pine (*Pinus sibirica* Du Tour) Population in the Western Sayan]. *Gornye ekosistemy Yuzhnoy Sibiri: izuchenie, ohrana i racional'noe prirodopol'zovanie*. Trudy Tigireksskogo zapovednika [The Mountain Ecosystems of South Siberia: Study, Protection and Rational Nature Management. Proceedings of Tigirekssk Reserve]. Barnaul, 2010, vol. 3, pp. 147–151.

7. Nazimova D.I., Korotkov I.A., Cherednikova Yu.S. Osnovnye vysochno-poyasnye podrazdeleniya lesnogo pokrova v gorakh Yuzhnoy Sibiri i ikh diagnosticheskie priznaki [The Main High-Altitudinal Belt Units of Forest Cover in the Mountains of Southern Siberia and Their Diagnostic Characteristics]. *Struktura i funktsionirovanie lesnykh biogeotsenozov Sibiri* [Structure and Functioning of Siberian Forest Ecosystems]. Moscow, 1987, pp. 30–67.

8. Pavlov I.N., Barabanova O.A. O formirovanii ustoychivyykh lesnykh kul'tur [On the Formation of Sustainable Forest Cultures]. *Lesnoe khozyaystvo*, 2006, no. 3, pp. 31–33.

9. Pobedinskiy A.V. *Izuchenie lesovosstanovitel'nykh protsessov* [The Study of Forest Recovery Processes]. Krasnoyarsk, 1962. 61 p.

10. Polikarpov N.P. Kompleksnye issledovaniya v gornyykh lesakh Zapadnogo Sayana [Complex Investigations in the Mountain Forests of the Western Sayan]. *Voprosy lesovedeniya* [Issues of Forest Science]. Krasnoyarsk, 1970, vol. 1, pp. 26–79.

11. *Reforestation Rules*. Approved by the order no. 183 of the RF ministry of natural resources, 16.07.2007 (In Russian).

12. Semechkin I.V., Polikarpov N.P., Iroshnikov A.I., Babinceva R.M., Vorob'ev V.N., Dashko N.V., Ivanov V.V., Kondakov Yu.P., Korotkova I.A., Murina T.K., Nazimova D.I., Popov V.E., Popova Yu.M., Sokolov G.A., Sofronov M.A., Smolin V.N., Spiridonov B.S., Chetakova N.M., Cherednikova Yu.S. *Kedrovyye lesa Sibiri* [Cedar Pine Forests of Siberia]. Novosibirsk, 1985. 258 p.

13. *Tipy lesov gor Yuzhnoy Sibiri* [Forest Types of Southern Siberia Mountains]. Novosibirsk, 1980, 336 p.

Received on Januar 26, 2014

УДК 630*273

ПЕРСПЕКТИВЫ РЕКРЕАЦИОННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГОРОДСКИХ ЛЕСОВ СЕЛИТЕБНОЙ ТЕРРИТОРИИ БРАТСКА

© *Е.М. Рунова, д-р с.-х. наук, проф.*

П.С. Гнаткович, асп.

Братский государственный университет, ул. Макаренко, 40, г. Братск, Иркутская область, Россия, 665709; e-mail: Gnatkovich_pavel_88@mail.ru

Организация рекреационных зон в пределах жилой застройки имеет большое значение для повышения комфортности проживания человека в неблагоприятных природно-климатических и экологических условиях промышленных городов Сибири. Одним из перспективных направлений в этой области является рекреационное освоение лесных массивов, включенных в городскую застройку. Участки леса в урбоэкосистеме выполняют не только рекреационные функции, но и оздоровительные, приобретающие первостепенное значение в условиях экологического неблагополучия г. Братска. Целью работы явилось изучение рекреационного и оздоровительного потенциала озелененных территорий естественного происхождения в условиях города. Исследования проводили в лесных массивах, расположенных в различных жилых районах г. Братска. Для рекреационной оценки естественных насаждений использовали методы ландшафтной таксации. В общей сложности на пробных площадях было обследовано 750 деревьев. Получены основные таксационные показатели древостоя. Определены типы пространственной структуры лесных территорий. Оценены эстетические характеристики лесных ландшафтов и санитарное состояние древостоев. Дана лесопатологическая характеристика насаждений. На основании полученных результатов сделан вывод о том, что лесные участки, расположенные в жилой застройке г. Братска и в непосредственной близости от ее границ, обладают высоким рекреационным и оздоровительным потенциалом.

Ключевые слова: городской лес, лесной массив, рекреационная функция насаждений, рекреационная оценка леса, ландшафтная таксация.

Введение

В последнее время в Братске ощущается все большая потребность в реконструкции существующих и создании новых озелененных мест отдыха. Одно из перспективных направлений в этой области – создание зон отдыха на базе лесных массивов селитебной территории. Во время застройки жилых районов г. Братска в структуру селитебных территорий были включены лесные массивы естественного происхождения. Таким образом, территория города обладает высоким рекреационным потенциалом. Лесные массивы, расположенные в жилой застройке и в непосредственной близости от ее границ, могут быть использованы для создания городских лесов* как зоны отдыха [1].

* Городской лес – это лес, произрастающий в черте города, который не входит по Лесному кодексу в состав государственного лесного фонда, но является одним из основных рекреационных объектов города.

Наиболее целесообразным и быстрым методом создания городских лесов является целенаправленная реконструкция лесных массивов. Оптимальное развитие рекреационного потенциала лесных зон зависит от двух основных условий: природных ресурсов (климатических и лесных) и социально-экономических особенностей (потребность населения и экономичность мероприятий) [5]. Совпадение этих критериев в существующих социально-экономических, градостроительных и природных условиях г. Братска определяет перспективность развития городских лесов. Перед зеленым хозяйством Братска стоит важная задача преобразования локальных лесных массивов в организованную сеть городских лесов, обеспечивающих массовый отдых и сохранность существующих насаждений.

Перспективы развития рекреационных зон не могут быть правильно оценены вне общей системы озеленения территорий города. Братск с рассредоточенной планировкой имеет децентрализованную систему озеленения, в которой отдельные участки зелени не связаны друг с другом [6]. В сложившихся градостроительных и природных условиях оптимально будет решать пространственное построение системы озеленения с помощью создания нескольких крупных лесных клиньев, достигающих центра города и увязанных с общей системой озеленения. Организация городских лесов и их увязка с общегородской системой озеленения подтверждается и санитарно-гигиеническими нормами. Различные исследования подтверждают особое оздоровительное значение крупных лесных зон, а также указывают на необходимость укрупнения существующих зеленых массивов и объединения их с другими объектами озеленения переходными звеньями линейной конфигурации (зеленые полосы, бульвары). Это необходимо для стимуляции городского воздухообмена и создания наиболее благоприятных условий для отдыха.

Методика и объект исследования

Цель исследования – определить рекреационную пригодность крупных лесных массивов г. Братска, расположенных в жилой застройке и в непосредственной близости от ее границ, для возможного их преобразования в систему городских лесов.

Объектом исследования выбраны лесные массивы в жилых районах г. Братска «Центральном», «Энергетике» и «Падуне», занимающих 809 га.

Важным мероприятием, определяющим развитие лесных зон, является рекреационная оценка насаждений, которая проводится методами ландшафтной таксации, представляющей собой предпроектное ландшафтно-архитектурное и биотехническое изучение и оценку отдельных функциональных частей зеленых массивов для описания их биологических, ландшафтно-архитектурных, санитарно-гигиенических и защитных достоинств для оптимального формирования рекреационных зон [2]. Лес представляет собой своеобразную статистическую популяцию, удобную для инвентаризации выборочным

методом, заключающимся в закладке пробных площадей, составляющих небольшой процент от общей площади лесного массива.

Древостой в лесных массивах оценивали по трем выборкам, на каждой из которых было обмерено 50 деревьев. В общей сложности было обследовано 750 деревьев. Для каждого дерева определяли высоту, диаметр ствола, высоту ствола до кроны, диаметр кроны (ОСТ 56-69–83. Площади пробные лесоустроительные). Эти измерения производили с помощью мерной вилки, выявление типов пространственной структуры лесных ландшафтов – с помощью космических снимков, эстетическую оценку – по методике А.В. Сычевой (2007) [8] с использованием характеристик рельефа, экспозиции местности, влажности и плодородия почв, породного состава древостоя, его формы и возраста, живописности опушек и полян, состава и качества травяного покрова.

В ходе изучения характеристики лесных массивов были определены породный состав лесонасаждения, средние таксационные показатели, лесопатологическая характеристика, санитарная оценка древостоя и эстетическая оценка лесных ландшафтов.

Результаты исследования

Озелененные территории естественного происхождения в силу особой планировочной структуры размещены на территории г. Братска неравномерно. На рис. 1 показано распределение площади лесных массивов по жилым районам города.

Наибольшую площадь озелененные территории естественного происхождения занимают в жилом районе «Центральный», гораздо меньше в районах «Энергетик» и «Падун». В Правобережном округе такие территории практически отсутствуют. Лесные массивы, расположенные в черте городской застройки, находятся на 20 м выше уровня Братского водохранилища, поэтому они не подвергаются подтоплению и абразивным процессам.

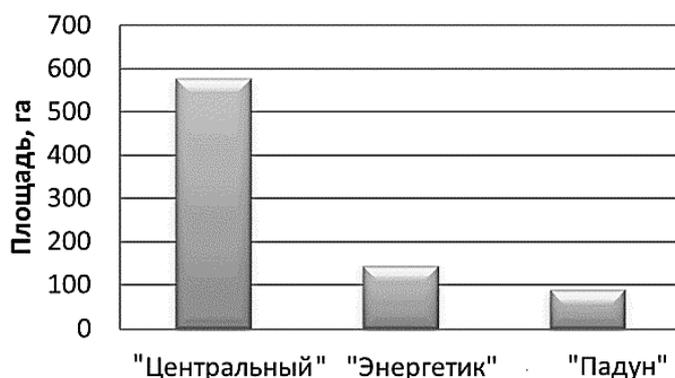


Рис. 1. Площадь зеленых насаждений естественного происхождения в жилых районах г. Братска

На рис 2 приведены схемы размещения лесных зон на территории г. Братска.

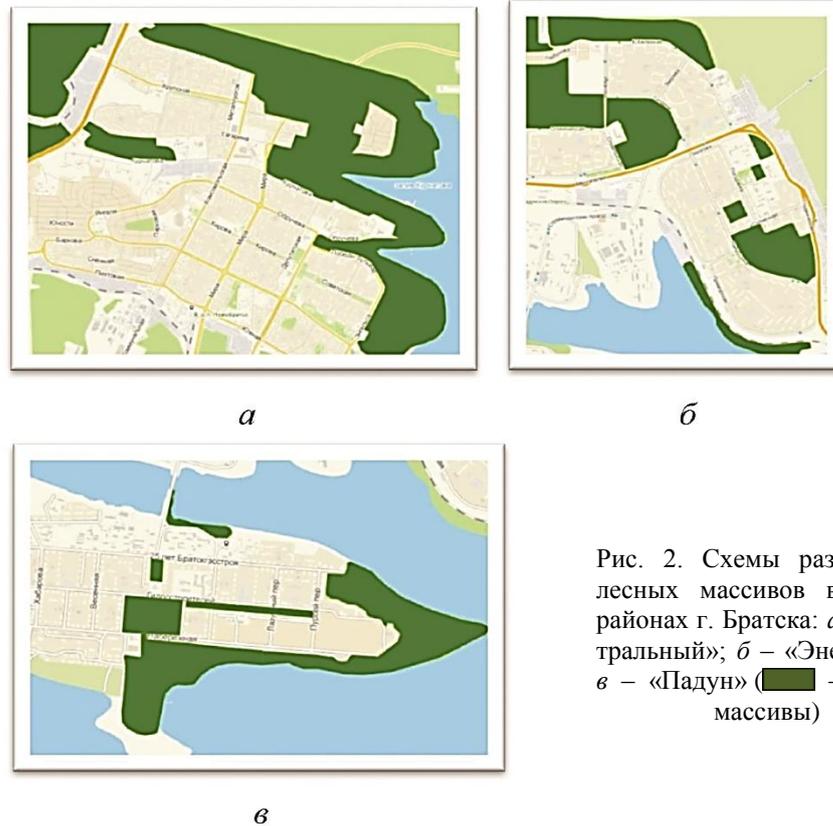


Рис. 2. Схемы размещения лесных массивов в жилых районах г. Братска: *a* – «Центральный»; *б* – «Энергетик»; *в* – «Падун» (■ – лесные массивы)

Для правильной организации пространства городского леса очень важно знать породный состав древостоя. Проведенные исследования показывают, что леса селитебной территории Братска на 47,6 % состоят из сосны обыкновенной (рис. 3).

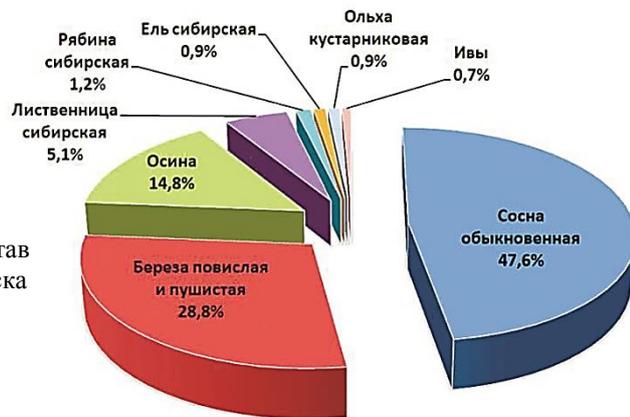


Рис. 3. Породный состав лесонасаждений г. Братска

Кроме породного состава, качественное исследование лесных массивов невозможно без учета таксационных показателей древостоя. В табл. 1 приведены средние таксационные показатели основных лесообразующих пород.

Таблица 1

Средние таксационные показатели древостоя

Порода	Диаметр ствола, см	Высота, м		Диаметр кроны, м	Средний возраст, лет
		деревя	ствола до кроны		
Сосна обыкновенная	40,8±2,7	19,6±0,1	9,2±0,1	9,9±0,4	80±5
Лиственница сибирская	38,0±4,1	20,0±1,4	9,8±1,9	8,8±1,6	90±4
Береза повислая	23,5±1,6	14,4±1,4	4,6±1,3	4,8±0,3	50±2
Тополь дрожащий	18,3±1,3	11,3±0,5	4,5±0,4	3,8±0,5	35±1

Немаловажным при организации городских лесов является санитарно-гигиеническая и лесопатологическая оценка лесных массивов, которая отражает физиологическое состояние и устойчивость древостоев. Загрязнение воздушной среды промышленными выбросами алюминиевого завода, лесопромышленного комплекса и других предприятий значительно ослабляет естественные древостои в черте г. Братска. Токсическое воздействие таких выбросов на ассимиляционный аппарат нарушает процессы дыхания, вызывает анатомические и морфологические изменения в тканях всех частей растений, в том числе и корневых систем, что приводит к преждевременному старению, усыханию и гибели в первую очередь хвойных древостоев [7].

В ходе лесопатологического обследования были выявлены поражения древостоя болезнями и вредителями и различные типы повреждений деревьев. В соответствии с пораженными органами древесных растений типы повреждений и болезней были распределены на следующие группы: повреждения ствола и коры, кроны, листьев и хвои, корней. Однако эти деревья по своему санитарному состоянию не относятся к опасным, фаутным, которые могут нанести вред здоровью людей. Результаты лесопатологического обследования озелененных территорий естественного происхождения свидетельствуют о необходимости проведения санитарно-оздоровительных мероприятий, а также лесохозяйственных профилактических мероприятий, направленных на создание условий, уменьшающих ослабление деревьев.

Данные по повреждениям в процентах от общего количества деревьев представлены на рис. 4.

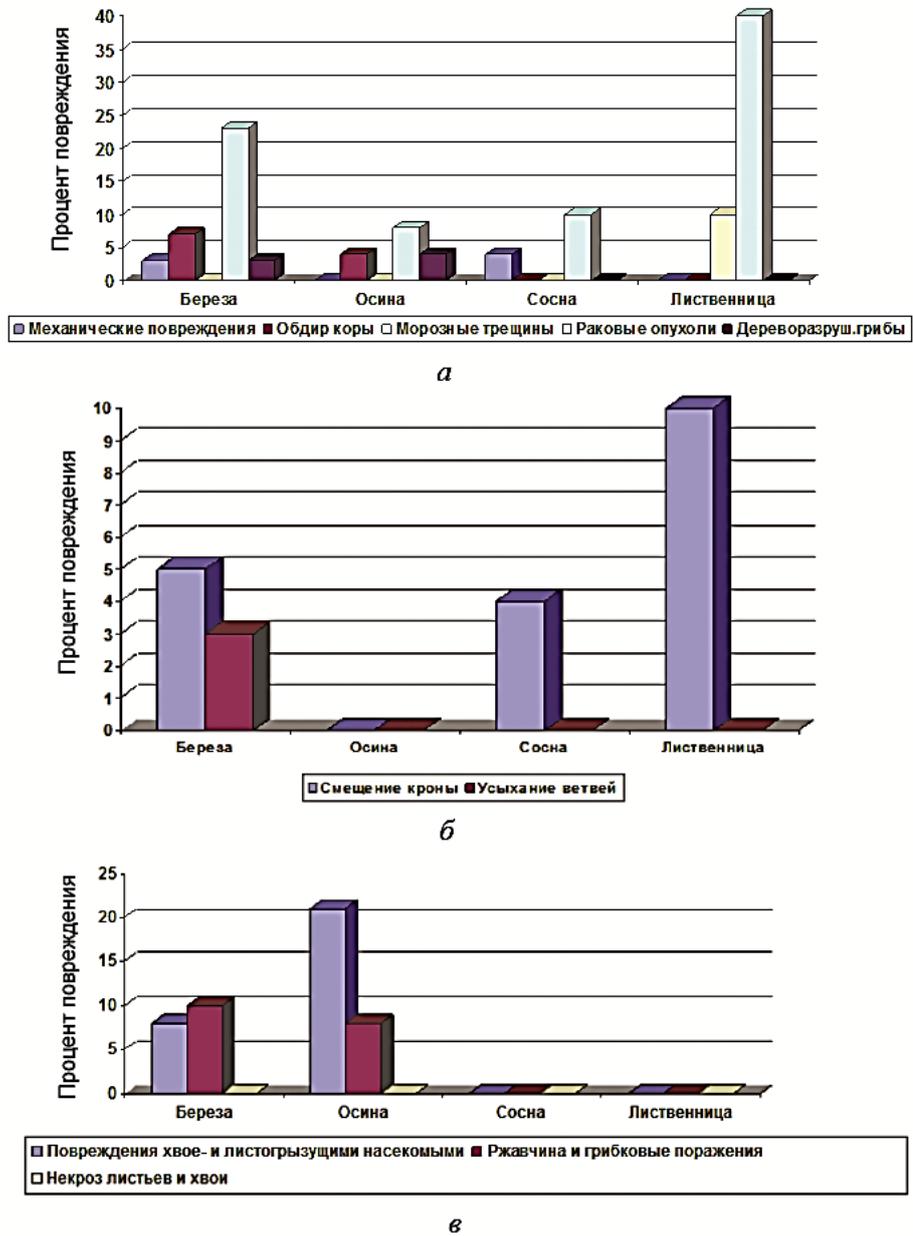


Рис. 4. Повреждения различных частей деревьев: а – ствол и кора; б – крона; в – листья и хвоя

Повреждения ствола в основном представлены небольшими сухобокостями глубиной не более 1/10 диаметра дерева, не вызывающими гнили ствола. Таким образом, деревья не представляют угрозу для жизни и здоровья посетителей лесных зон города.

Архитектурно-планировочное решение городских лесов должно быть основано на максимальном использовании хорошо выраженного рельефа, существующих разновозрастных насаждений для осуществления последовательной цепи живописных пейзажей, постепенно раскрывающих перед посетителем лесное пространство.

Рельеф местности имеет большое значение для архитектурно-художественной выразительности городских лесов. Умелое использование рельефа в сочетании с правильным размещением зеленых насаждений способствует созданию живописных композиций. Топографические условия существующих лесных массивов г. Братска приемлемы для организации городских лесов. Среднегорный рельеф бассейна р. Ангара создает особую эстетическую привлекательность и благоприятствует развитию активных видов отдыха. Разница высотных отметок на территории насаждений, достигающая 42 м, создает живописный рельеф, как правило, с системой неглубоких ложин.

Соотношение территорий лесных массивов по категориям эстетической ценности является немаловажным фактором при формировании рекреационных зон. В основе эстетической оценки лесных ландшафтов лежат декоративные качества деревьев и кустарников и их сочетание с другими компонентами микроландшафтов. Этот показатель отражает красочность и гармоничность взаимосвязей всех компонентов живой и неживой природы.

Проведенный эстетический анализ лесных ландшафтов на территории г. Братска, основанный на перечисленных выше критериях, показал, что в среднем 74,6% лесных массивов относятся к категориям наиболее живописных и живописных (рис. 5).



Рис. 5. Процентное соотношение лесных ландшафтов по категориям эстетической ценности в лесных массивах селитебной территории г. Братска

Также на эстетические свойства городских лесов оказывают существенное влияние типы пространственных структур (ТПС). Необходимо отметить, что сложившаяся система ТПС, т. е. соотношение открытых, полуоткрытых и закрытых пространств лесных массивов г. Братска, не соответствует местным климатическим условиям для организации отдыха населения. В табл. 2 показано существующее соотношение ТПС лесных массивов в сравнении с нормативом для организации лесопарка.

Таблица 2

Соотношение (%) ТПС в лесных массивах г. Братска

ТПС	Существующее	Норма
Открытые	9,4	25...30
Полуоткрытые	19,5	25...30
Закрытые	71,1	40...50

В городских лесах ТПС должны меняться, чередоваться и обеспечивать наиболее оптимальные условия для отдыха. Как правило, городской лес имеет две зоны: активного и тихого отдыха. Это обуславливает определенное соотношение в них соответствующих типов ландшафтов с различным сочетанием древостоев по составу древесных и кустарниковых пород и по возрастной структуре, что также должно быть предусмотрено при проектировании зон отдыха. Древостои лесных массивов города, в которых преобладают закрытые ТПС (71,1 %), при реорганизации в городские леса нуждаются в ряде мероприятий по приведению их к оптимальной пространственной структуре с использованием нормативных данных, применяемых для конкретной климатической зоны. К таким мероприятиям, прежде всего, относятся сплошные рубки и рубки формирования. К переводу в открытые ландшафты необходимо назначать молодняки малоценных пород; древостои, расстроенные рубками, пожарами и вредителями; заросли кустарников. Поляны, получаемые в результате рубок, в ландшафте городского леса имеют большое композиционное и функциональное назначение. Они необходимы в композиции как открытые пространства, контрастирующие с массивами насаждений.

Непременные условия рационального использования городских лесов – проведение комплексного воспроизводства лесных ресурсов, оздоровительных мероприятий и развитие различных направлений лесного хозяйства. В целях обогащения породного состава лесонасаждений необходимо вводить декоративные группы древесно-кустарниковой растительности в наиболее посещаемые места городского леса, а для оформления полей и опушек – преимущественно лиственные породы, которые легче переносят техногенное загрязнение, замедляют деградацию фитоценоза, защищают подрост и травяно-кустарничковый ярус [3, 4]. Кроме защитных функций и повышения декоративных качеств лесных пространств, введение в состав насаждений лиственных пород может улучшить лесорастительные условия за счет почвоулучшающих свойств многих древесных видов.

Заключение

На основании проведенного исследования можно сделать вывод о том, что лесные массивы, расположенные в жилой застройке г. Братска и в непосредственной близости от ее границ, обладают высоким рекреационным потенциалом для организации отдыха.

Рекреационные ресурсы не могут быть в полной мере использованы на благо жителей города без всесторонних и подробных исследований. Поэтому в дальнейшем для разработки комплекса мероприятий по созданию сети городских лесов и оптимизации ее структуры необходимо продолжать исследования, направленные на детальное изучение состояния и жизнестойкости лесных массивов в сложных природно-климатических и экологических условиях г. Братска, а также регулярно проводить санитарные и лесопатологические обследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Агальцова В.А.* Основы лесопаркового хозяйства. М.: МГУЛ, 2008. 213 с.
2. Архитектурная композиция садов и парков / Центральный научно-исследовательский и проектный институт по градостроительству; под общ. ред. А.П. Вергунова. М.: Стройиздат, 1980. 254 с.
3. *Гаврилин И.И., Рунова Е.М.* Некоторые особенности газопоглодительной способности деревьев в урбозкосистеме г. Братска // Лесн. вестн. МГУЛ. №1(84). 2012. С. 135–139.
4. *Пузанова О.А.* Экологическая оценка длительного техногенного воздействия на хвойные древостои Приангарья: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Братск, 2005. 25 с.
5. *Родичкин И.Д.* Строительство лесопарков в СССР. М.: Лесн. пром-сть, 1972. 180 с.
6. *Рунова Е.М., Гнаткович П.С.* Видовой состав зеленых насаждений общего пользования г. Братска // Системы. Методы. Технологии. 2013. № 2(18). С. 156–160.
7. *Рунова Е.М., Гнаткович П.С.* Экологическая оценка рекреационных зон города Братска методом флуктуирующей асимметрии березы повислой // Фундаментальные исследования. 2013. № 1-2. С. 223–227.
8. *Сычева А.В.* Ландшафтная архитектура. 4-е изд. М.: Оникс, 2007. 87 с.

Поступила 17.07.14

UDC 630*273

Recreational Use Prospects of Urban Forests on Residential Area in Bratsk

E.M. Runova, Doctor of Agriculture, Professor

P.S. Gnatkovich, Postgraduate Student

Bratsk State University, Makarenko, 40, Bratsk, 665709, Russia; e-mail: Gnatkovich_pavel_88@mail.ru

Organization of recreational areas within residential areas of cities has great importance to improve the comfort of living in human adverse climatic and environmental conditions

of large industrial cities of the Siberia. One of the promising directions in this field is the development of recreational woodland residential areas. Urban forests execute not only recreational functions, but also health, obtained paramount importance in the context of ecological trouble of Bratsk. The aim of the work was to study the potential health and recreational green areas of natural origin, for evidence-based organization of urban forests. Studies were conducted in the large forests, located in different residential areas of Bratsk. Recreation assessment of natural stands, was carried out by methods of landscape inventory. Forest stand evaluation was carried out on the test stand areas. A total of 750 trees were examined. The basic inventory indicators of stand were obtained. The types of spatial structure of forest landscapes were determined. Aesthetic characteristics of forest landscapes was received. Sanitary assessment of stands was conducted. Forest pathology characteristic of plantations was given. Based on the research results, it can be concluded that the forests, located in residential areas of Bratsk and close to its borders, have high recreational and health potential and can be used for the organization of urban forests.

Keywords: urban forest, forestland, recreational function of plantation, recreation assessment of forest, landscape valuation.

REFERENCES

1. Agal'tsova V.A. *Osnovy lesoparkovogo khozyaystva* [Fundamentals of Forestry Management]. Moscow, 2008. 213 p.
2. *Arkhitekturnaya kompozitsiya sadov i parkov* [Architectural Composition of Gardens and Parks]. Moscow, 1980. 254 p.
3. Gavrilin I.I., Runova E.M. Nekotorye osobennosti gazopoglotitel'noy sposobnosti derev'ev v urboekosisteme g. Bratska [Some Features of Getter Ability of Trees in Urban Ecosystems of Bratsk]. *Lesnoy vestnik MGUL*, 2012, no. 1(84), pp. 135–139.
4. Puzanova O.A. *Ekologicheskaya otsenka dlitel'nogo tekhnogennogo vozdeystviya na khvoynye drevostoi Priangar'ya*: avtoref. dis. kand. sel'.-khoz. nauk [Ecological Assessment of Long-Term Anthropogenic Impact on Conifer Stands in the Priangarye: Cand.Agric.Sci.Diss.Abs.]. Bratsk, 2005.
5. Rodichkin I.D. *Stroitel'stvo lesoparkov v SSSR* [Forest Parks Construction in the USSR]. Moscow, 1972. 180 p.
6. Runova E.M., Gnatkovich P.S. Vidovoy sostav zelenykh nasazhdeniy obshchego pol'zovaniya g. Bratska [Species Composition of Public Green Spaces in Bratsk]. *Systemy. Metody. Tekhnologii*, 2013, no. 2(18), pp. 156–160.
7. Runova E.M., Gnatkovich P.S. Ekologicheskaya otsenka rekreatsionnykh zon goroda Bratska metodom fluktuiruyushchey asimmetrii berezy povisloy [Ecological Assessment of the Recreational Areas of Bratsk by Fluctuating Asymmetry of Birch]. *Fundamental'nye issledovaniya*, 2013, no. 1-2, pp. 223–227.
8. Sycheva A.V. *Landshaftnaya arkhitektura* [Landscape Architecture]. Moscow, 2007. 87 p.

Received on July 17, 2014

УДК 630*232

ВЛИЯНИЕ НИЗКОЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПРОРАСТАНИЕ СЕМЯН И РОСТ СЕЯНЦЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ И ЕЛИ ЕВРОПЕЙСКОЙ

© *А.И. Смирнов¹, ген. дир.*

Ф.С. Орлов¹, зам. ген. дир.

И.И. Дроздов², д-р с-х. наук, проф.

¹ООО «Разносервис», Лихов пер., 10, Москва, Россия, 127051; e-mail 3642737@mail.ru

²Московский государственный университет леса, ул. 1-я Институтская, 1, г. Мытищи, Московская область, Россия, 141005; e-mail: caf-lescult@mgul.ac.ru

В работе приводятся результаты изучения влияния низкочастотного электромагнитного поля на повышение посевных качеств семян сосны обыкновенной и ели европейской и ускорение ростовых процессов сеянцев первого года выращивания. Исследования проводились в лабораторных и полевых условиях. Для лабораторных опытов были взяты семена 3-го класса качества, для полевых – 2-го. Перед посевом семена сосны и ели обрабатывали низкочастотным электромагнитным стимулятором «Рост-актив» (частота 1...16 Гц, время экспозиции 11 мин). Семена проращивали в чашках Петри в термостате при температуре 24 °С в течение 15 сут, используя дистиллированную воду. Энергию прорастания семян сосны определяли на 7-й день, ели – на 10-й, на 15-й день определяли лабораторную всхожесть семян этих пород. Одновременно измеряли длину проростков. Опыт был заложен в трех повторностях. Для подтверждения полученных в лабораторных условиях результатов в середине мая 2013 г. в Калининском питомнике «Лесозащитный противопожарный центр «Тверьлес»» был выполнен опытный посев семян сосны обыкновенной и ели европейской, обработанных низкочастотным электромагнитным стимулятором «Рост-актив» непосредственно перед посевом. Посев осуществляли вручную по 5-строчной схеме. Норма высева – 2 г на погонный метр. Протяженность опытного и контрольного вариантов для каждой породы составляла 20 м посевной гряды. Опыт был заложен в пяти повторностях. Результаты лабораторных опытов свидетельствуют о том, что обработка семян низкочастотным электромагнитным полем способствовала повышению их всхожести по сравнению с контролем на 38 % (сосна) и 30 % (ель). Линейные параметры проростков существенно превышали контрольные значения. В Калининском лесном питомнике в конце сезона был проведен учет 1-летних сеянцев на опытном и контрольном участках посевов. Учет сеянцев сосны показал, что на опытном участке получено на 37 % больше сеянцев по сравнению с контрольным вариантом. В опыте с елью различие по сравнению с контролем составило 32 %. Длина корней опытных растений сосны была больше по сравнению с контрольными на 27 %. Высота увеличилась на 23 %, что отразилось на биомассе растений, которая была больше контроля на 12 %. У сеянцев ели длина корней опытных растений по сравнению с контролем увеличилась на 16 %, высота – на 26 %. При этом масса опытных растений за счет лучшего охвоения была больше контрольных более чем в 2 раза. На основании результатов выполненных исследований можно сделать вывод о том, что обработка семян сосны обыкновенной и ели европейской низкочастотным электромагнитным полем положительно влияет не только на их лабораторную и грунтовую всхожесть, но и на рост

сеянцев. Дальнейшие наблюдения за ростом сеянцев (на второй год выращивания) позволят сделать окончательные выводы о возможности использования изучаемого метода в технологии выращивания сеянцев сосны и ели в целях получения большего количества стандартных экземпляров с единицы площади лесных питомников.

Ключевые слова: низкочастотное электромагнитное поле, прорастание семян, рост сеянцев, сосна, ель.

Успешность лесовосстановления во многом зависит от качества выращиваемого посадочного материала. Поэтому процессу его выращивания в лесных питомниках уделяется большое внимание, так как основным и наиболее эффективным способом производства лесных культур является посадка [7]. На качество посадочного материала влияют следующие факторы: условия выращивания (почвенно-экологические, достаточность элементов минерального питания и т.д.), агротехнические приемы (агроуходы, полив, подкормки и др.). Для повышения его качества используют также различные методы, способствующие более быстрому прорастанию семян и ускорению роста сеянцев. Широко применяют предпосевную подготовку семян и внекорневые подкормки сеянцев различными видами удобрений (органическими, минеральными, микроэлементами) и стимуляторов роста [6]. Есть примеры успешного применения биотехнологии для производства посадочного материала хвойных и лиственных пород в целях ускорения роста, повышения их устойчивости к заболеваниям и улучшения свойств древесины [3]. В настоящее время внимание исследователей привлекают физические факторы воздействия на рост растений, в частности электромагнитные поля искусственного происхождения (ЭМП). С помощью низкочастотного электромагнитного поля (НЭМП) можно повысить урожайность сельскохозяйственных культур. Доказано, что обработка семян ЭМП повышает их всхожесть, положительно влияет на рост и развитие растительных объектов [1, 4, 5]. Следует отметить, что данные исследования велись в основном применительно к сельскохозяйственным культурам.

Вопрос влияния ЭМП на семена и сеянцы лесных пород не изучен. В практике лесного хозяйства не все питомники могут обеспечить необходимые условия для хранения собранных семян. В результате длительного хранения наблюдается снижение их посевных характеристик, в связи с этим вынужденно используются семена низкого качества (2-го и даже 3-го класса), что приводит к недостаточному получению качественного посадочного материала.

Цель работы – изучение возможности повышения посевных качеств семян и усиление роста сеянцев сосны и ели с помощью НЭМП.

Нами в течение трех лет изучалось влияние НЭМП на развитие сеянцев сосны и ели: от прорастания семян до роста сеянцев. В лесном семеноводстве подобные исследования проведены впервые.

Эксперимент состоял из лабораторных и полевых опытов. Для лабораторных были взяты семена 3-го класса качества, для полевых – 2-го.

Семена сосны и ели обрабатывали НЭМП частотой 1...16 Гц. В лабораторных условиях семена проращивали в термостате при температуре 24 °С в течение 15 сут на дистиллированной воде. Для сосны энергию прорастания определяли на 7-й день, для ели – на 10-й. На 15-й день определяли лабораторную всхожесть семян этих пород [2]. Одновременно измеряли длину проростков. Опыт был заложен в трех повторностях.

Результаты, представленные в табл. 1, свидетельствуют, что обработка семян НЭМП способствовала повышению их всхожести по сравнению с контролем на 38 % (сосна) и 30 % (ель). Линейные параметры проростков существенно превышали контрольные значения, что подтверждает стимулирующее действие низкочастотного электромагнитного поля (НЭМП) на рост растений.

Таблица 1

**Количество проростков после обработки семян НЭМП
и их линейные параметры**

Вариант опыта	Лабораторная всхожесть, %	Длина проростка		Критерий Стьюдента t
		мм ($M \pm m$)	% к контролю	
<i>Сосна</i>				
Контроль	55/100	33,7±1,21	100	–
Опыт	76/138	56,2±1,28	167	12,77
<i>Ель</i>				
Контроль	61/100	30,1±1,83	100	–
Опыт	79/130	53,3±4,54	177	4,73

Примечание. Здесь и далее, в табл. 2, в знаменателе приведены данные в процентах к контролю.

Данные табл. 1 наглядно показывают, что обработка семян НЭМП положительно влияет на прорастание семян как сосны, так и ели.

В целях подтверждения полученных в лабораторных условиях результатов в середине мая 2013 г. в Калининском питомнике «ЛПЦ Тверьлес» (Тверская область) был выполнен опытный посев семян сосны обыкновенной и ели европейской, обработанных непосредственно перед посевом НЭМП.

Посев осуществляли вручную по 5-строчной схеме. В связи с тем, что целью экспериментального посева было определение различий в показателях опытных и контрольных растений, была выбрана норма высева 2 г на погонный метр. Протяженность посевной гряды опытного и контрольного вариантов для каждой породы составляла 20 м. Повторность опыта 5-кратная.

В течение вегетационного сезона на посевах осуществляли все необходимые уходы: прополки, подкормки минеральными удобрениями, рыхления, обработки гербицидами и фунгицидами.

В конце сезона был проведен учет 1-летних сеянцев на опытном и контрольном участках посевов. На опытном участке сеянцев сосны получено на

37 % больше по сравнению с контрольным вариантом. В опыте с елью различие по сравнению с контролем составило 32 %.

Одновременно с учетом сеянцев (в середине сентября 2013 г.) произведен отбор их с каждого варианта для замера длины корней и высоты растений. На данном этапе эти показатели лучшим образом отражают положительный эффект использования НЭМП для предпосевной обработки семян.

После высушивания в течение 15 дней определяли массу сеянцев в воздушно-сухом состоянии. Результаты замеров приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Биометрические параметры 1-летних сеянцев сосны
и ели после обработки семян НЭМП**

Вариант опыта	Длина корня	Высота	Количество сеянцев на погонном метре, шт.	Масса 1 сеянца, мг
	см			
	<i>Сосна</i>			
Контроль	3,0/100	3,1/100	60/100	81,0/100
Опыт	3,8/127	3,8/123	82/137	91,1/112
	<i>Ель</i>			
Контроль	3,8/100	3,1/100	72/100	31,0/100
Опыт	4,4/116	3,9/126	95/132	74,2/239

Из табл. 2 следует, что обработка семян НЭМП в целом положительно отразилась на биометрических показателях сеянцев.

Длина корней опытных растений сосны была на 27 % больше по сравнению с контрольными, высота увеличилась на 23 %. Это отразилось на биомассе растений, которая была больше контроля на 12 %.

Длина корней опытных растений ели была на 16 % больше по сравнению с контролем, высота увеличилась на 26 %. При этом масса опытных растений была больше более чем в 2 раза за счет лучшего охвоения.

На основании выполненных исследований можно сделать вывод о том, что обработка семян сосны и ели НЭМП положительно влияет не только на их лабораторную и грунтовую всхожесть, но и на рост сеянцев. Дальнейшие наблюдения за ростом сеянцев (на второй год выращивания) позволят сделать окончательные выводы о возможности использования изучаемого метода в технологии выращивания сеянцев сосны и ели в целях получения большего количества стандартных экземпляров с единицы площади лесных питомников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Голдаев В.К.* Электрическое поле и урожай // Сельс. хоз-во. 1980. № 4. С. 30–31.
2. ГОСТ 13056–75. Семена деревьев и кустарников. Методы определения всхожести. М.: Изд-во стандартов, 1977. 3 с.
3. *Жигунов А.В.* Применение биотехнологий в лесном хозяйстве России // Лесн. журн. 2013. № 2. С. 27–35. (Изв. высш. учеб. заведений).

4. Комиссаров Г.Г. Влияние флуктуирующего электромагнитного поля на ранние стадии развития растений // Докл. АН. 2006. Т. 406, № 1. С. 108–110.

5. Ксенз Н.В., Качеишвили С.В. Анализ электрических и магнитных воздействий на семена // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2000. № 5. С. 10–12.

6. Пентелькина Н.В. Проблемы выращивания посадочного материала в лесных питомниках и пути их решения // Актуальные проблемы лесного комплекса: сб. науч. тр. Вып. 31. Брянск: БГИТА, 2012. С. 189–193.

7. Родин А.Р. Интенсификация выращивания лесопосадочного материала. М.: Агропромиздат, 1989. 78 с.

Поступила 26.12.14

UDC 630*232

Influence of Low Frequency Electromagnetic Field on Seed Germination and Growth of Seedlings of Scots Pine and Norway Spruce

A.I. Smirnov¹, the General Director

F.S. Orlov¹, Assistant Director

I.I. Drozdov², Doctor of Agriculture, Professor

¹Society with Limited Liability "Raznoservis", Likhov per., 10, Moscow, 127051, Russia; e-mail: 3642737@mail.ru

²Moscow State Forest University, Institutskaya, 1, Mytishi, Moscow Region, 141005, Russia; e-mail: caf-lescult@mgul.ac.ru

Studying results of influence of a low-frequency electromagnetic field on increase of seeds sowing qualities of a Scots pine and Norway Spruce and acceleration of growth processes of cultivation seedlings of the first year are given in work. Researches were carried out in laboratory and field conditions. For laboratory experiments seeds of the 3rd class of quality, and for field, the 2nd class of quality were taken. Before the crop seeds of a pine and spruce were processed by a low-frequency electromagnetic stimulator "Rost-activ" with a frequency of 8-16 Hz, time of an exposition of 11 minutes. Seeds were couched in Petri's cups in the thermostat at a temperature of 240 °C within 15 days, used the distilled water. Energy of seed germination was defined for a pine – on the 7th day, for a spruce – on the 10th. On the 15th day laboratory viability for seeds of these breeds was defined. At the same time was measured length of seedlings. Experience was put in three replications. For the confirmation of the results, received in vitro in the middle of May, 2013 in Kalinin nursery of "LPTs Tverles" (Tver region), expert crop of seeds of a Scots pine and Norway Spruce was executed, processed by a low-frequency electromagnetic stimulator "Rost-activ". Crops were carried out manually according to the 5-lower case scheme. The norm of seeding was chosen 2 g on running meter. Extent of skilled and control options for each breed was made 20 m of a sowing ridge. Experience was put in five replications. Results of laboratory experiments testify that processing of seeds by a low-frequency electromagnetic field promoted the increase of their viability in comparison with control on 38 % (pine) and 30 % (spruce). Linear parameters of seedlings significantly exceeded control values. In Kalinin forest nursery at the end of a season the accounting of 1-year seedlings on expert and control sites of crops was carried out. The accounting of seedlings of a pine showed that on a expert site 37 % more seedlings in comparison with control option are received. In experience with a spruce

distinction in comparison with control made 32 %. Length of the roots of expert plants of a pine was more in comparison with control for 27 %. Height increased by 23% that was reflected in biomass of plants which was more control for 12%. At spruce seedlings length of roots of expert plants was 16 % more in comparison with control, and height increased by 26 %. Thus the mass of expert plants was more control more than twice due to the best acerouse leaves. On the basis of results of the executed researches it is possible to draw a conclusion that processing of seeds of a Scots pine and Norway Spruce by a low-frequency electromagnetic field positively influences not only their laboratory and soil viability, but also on growth of seedlings. Further supervision over growth of seedlings, for the second year of cultivation, will allow to draw final conclusions on possibility of use of the studied method in technology of cultivation of seedlings of a pine and spruce for the purpose of receiving bigger quantity of standard seedlings from unit of area of forest nurseries.

Keywords: low-frequency electromagnetic field, seeds germination, seedlings growth, pine, spruce.

REFERENCES

1. Goldaev V.K. *Elektricheskoe pole i urozhay* [Electric Field and Harvest]. *Sel'skoe khozyaystvo*, 1980, no. 4, pp. 30–31.
2. *GOST 13056–75. Semena derev'ev i kustarnikov. Metody opredeleniya vskhozhesti* [State Standart 13056–75. Seeds of Trees and Shrubs. Methods for Determination of Germination]. Moscow, 1977.
3. Zhigunov A.V. *Primenenie biotekhnologiy v lesnom khozyaystve Rossii* [The Application of Biotechnology in Forestry of Russia]. *Lesnoy zhurnal*, 2013, no. 2, p.1.
4. Komissarov G.G. *Vliyanie fluktuiruyushchego elektromagnitnogo polya na rannie stadii razvitiya rasteniy* [Influence of Fluctuated Electromagnetic Field at an Early Stage of Plant Development]. 2006, vol. 406, no. 1, pp. 108–110.
5. Ksenz N.V., Kacheishvili S.V. *Analiz elektricheskikh i magnitnykh vozdeystviy na semena* [Analysis of Electric and Magnetic Effects on Seeds]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*, 2000, no. 5, pp. 10–12.
6. Pentel'kina N.V. *Problemy vyrashchivaniya posadochnogo materiala v lesnykh pitomnikakh i puti ikh resheniya* [Growing Problems of Planting Material in Forest Nurseries and Their Solutions]. *Aktualnie problemi lesnogo kompleksa. Sb.nauch.tr.* [Actual problems of Forestry. Collected Papers]. Bryansk, 2012, iss. 31, pp. 189–193.
7. Rodin A.R. *Intensifikatsiya vyrashchivaniya lesoposadochnogo materiala* [Intensification of Growing of Forest Planting Material]. Moscow, 1989. 78 p.

Received on December 26, 2014

УДК 630*232.325.24

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЛИГНОСУЛЬФОНАТОВ НА ВЕГЕТАЦИЮ СОРНЯКОВ И СЕЯНЦЕВ ЕЛИ В ЛЕСНЫХ ПИТОМНИКАХ

© С.Н. Марич, магистрант

Н.А. Бабич, д-р с.-х. наук, проф.

И.М. Бабкин, канд. хим. наук

Ю.Г. Хабаров, д-р хим. наук, проф.

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: marich.svetlana@inbox.ru

Цель исследования заключается в оценке возможности использования технических лигносульфонатов в качестве аналога промышленных гербицидов. Технические лигносульфонаты, представляющие собой соли лигносульфоновых кислот, полученные при делигнификации древесины сульфитным способом, в отличие от других технических лигнинов хорошо растворяются в воде, что определяет их широкое использование, в том числе в качестве возможных аналогов гербицидов для подавления сорной растительности. Полевым опытам предшествовали лабораторные испытания, проводимые для оценки влияния веществ группы технических лигносульфонатов на прорастание семян ели (*Picea abies* (L.) Karst.). Они носили функцию уточнения оптимальных концентраций наиболее эффективных препаратов для подавления сорной растительности. В результате предварительных лабораторных опытов для дальнейшего испытания в полевых условиях Кадниковского питомника Вологодского селекционно-семеноводческого лесохозяйственного центра использованы следующие модифицированные лигносульфонаты: нитрозированные, хлорированные и нитрированные с концентрацией 10 %. Для сравнения была заложена контрольная площадка с ручной прополкой и участки с обработкой промышленными гербицидами – раундапом и зелеком. Проведенные полевые опыты по влиянию лигносульфонатов на рост 2- и 3-летних сеянцев ели показали, что в контрольном варианте соотношение надземной и подземной частей составляет 2,4:1,0 и 3,7:1,0, соответственно. При обработке модифицированными лигносульфонатами это соотношение близко к контролю. Эффект усугубляется при обработке сеянцев производственными препаратами. Например, в случае применения зелека соотношение составляет 2,6:1,0 и 4,3:1,0. Анализ результатов полевых исследований позволил выявить препарат с оптимальной концентрацией, оказывающий незначительное влияние на вегетацию ели и имеющий сильный гербицидный эффект на рост и развитие сорной растительности, – лигносульфонаты хлорированные (концентрация рабочего вещества 10 %).

Ключевые слова: технические лигнины, гербицид, сорная растительность, лесной питомник.

Гербициды в лесных питомниках широко применяются как в России, так и за рубежом [6, 8]. Обусловлено это не только возможностью повышения эффективности и снижения стоимости ухода за посевами и посадками, но во многом – острой нехваткой рабочей силы [5]. В России зарегистрированы

и разрешены для производственного применения глифосатсодержащие препараты (раундап, глифос, торнадо, зеро и другие препараты под различными торговыми названиями), гоал, анкор-85, зелек-супер [4].

В качестве аналога известных гербицидов предложены технические лигносульфонаты (ЛСТ) с рабочими названиями: ЛСТ нитрозированные, ЛСТ хлорированные и ЛСТ нитрированные (ЛИНИТ).

Первоначальным опытам предшествовали предварительные лабораторные испытания, проводимые для оценки влияния веществ группы ЛСТ на прорастание семян ели и носящие функцию уточнения оптимальных концентраций наиболее эффективных препаратов, подавляющих сорную растительность. В ходе исследований определяли техническую (V_T) и абсолютную (V_A) всхожесть, энергию прорастания семян (Ξ) и средний семенной покой (C_n) для семян ели (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Влияние веществ группы ЛСТ на прорастание семян ели

Вариант опыта	Концентрация препарата, %	Показатели качества семян (средние значения)			
		V_T , %	V_A , %	Ξ , %	C_n , дн.
Ручная прополка – контроль	–	96,2	98,2	95,0	7,6
ЛСТ нитрозированные	5	96,0	97,0	73,4	8,3
	10	96,7	99,0	86,0	8,7
	20	74,5	93,0	68,2	8,6
	30	52,2	93,4	47,2	9,0
ЛСТ хлорированные	5	95,0	96,9	89,7	7,9
	10	93,2	95,6	89,7	7,9
	20	74,2	100,0	67,7	8,6
	30	68,0	96,1	63,5	8,6
ЛИНИТ	5	90,2	92,9	82,0	8,5
	10	90,7	94,1	87,2	8,3
	20	78,5	91,2	74,2	8,9
	30	73,5	85,2	64,2	9,6
Промышленные гербициды:					
	зелек	–	3,7	4,0	2,5	15,1
раундап	–	4,5	4,7	3,6	12,8

Результаты испытаний синтезированных модифицированных веществ на всходах мало- и многолетних сорняков в лабораторных условиях приведены в табл. 2.

Опыты не проводились для веществ с концентрацией 20...30 %, так как отмечено отрицательное влияние на прорастание семян ели. Определение биологической эффективности гербицидов рассчитывали по формуле, предложенной С.Я. Поповым и соавторами [2], по учетным данным после обработки по отношению к исходной засоренности в опыте и с поправкой на контроль через исправленный процент гибели сорняков.

Т а б л и ц а 2

Влияние веществ группы ЛСТ на всходы сорных растений

Вариант опыта	Концентрация, %	Количество всходов, шт.		Эффективность, %
		до обработки	после обработки	
Многолетние вегетативно-подвижные (<i>Taraxacum officinale</i> Wigg.)				
ЛСТ нитрозированные	5	86	83	3,5
	10	90	65	27,8
ЛСТ хлорированные	5	89	85	4,5
	10	85	39	54,1
ЛИНИТ	5	92	86	6,5
	10	82	52	36,6
Раундап	–	83	40	51,8
Многолетние вегетативно-неподвижные (<i>Coronaria flos-cuculi</i> (L.) R. Br.)				
ЛСТ нитрозированные	5	68	66	2,9
	10	69	50	27,5
ЛСТ хлорированные	5	71	70	1,4
	10	70	35	50,0
ЛИНИТ	5	69	64	7,2
	10	69	45	34,8
Раундап	–	70	35	50,0
Малолетние (<i>Erigeron canadensis</i> L.)				
ЛСТ нитрозированные	5	50	48	4,0
	10	48	22	54,2
ЛСТ хлорированные	5	48	44	8,3
	10	49	20	59,2
ЛИНИТ	5	50	46	8,0
	10	50	23	54,0
Раундап	–	50	15	70,0

Испытание эффективности препаратов, обладающих гербицидными свойствами, проводили по общепринятой методике обработки полей питомников гербицидами [1]. В соответствии с правилами использования гербицидов опрыскивание проводили в период массовой вегетации сорняков, в сухую безветренную погоду. Опыты закладывали в 2- и 3-летних посевах ели на площадках 1×3 м в трехкратной повторности для каждого препарата. Для оценки влияния веществ с гербицидными свойствами на вегетацию растений закладывали одну учетную площадку (1 м²) на сеянцы и по две площадки (1 м²) на сорняки. Дважды за сезон проводили количественный учет сорняков, при этом определяли жизненность экземпляров, фенологическую фазу развития, среднюю высоту и количество в пересчете на 1 м². После второго учета все опытные варианты пропалывали и взвешивали в воздушно-сухом состоянии отдельно по каждому виду. Учеты сеянцев хвойных проводили в конце сезона. Подсчитывали количество сеянцев в пересчете на 1 м² по каждому варианту, для определения

биометрических показателей, отражающих воздействие изучаемого препарата, отбирали по 15 семян каждого варианта. Измеряли длину семени и корней, затем взвешивали в воздушно-сухом состоянии, после чего определяли массу хвои, стволика, корней (до 1 мм, более 1 мм).

Сроки обработки лесных питомников гербицидами зависят от почвенно-климатической зоны, особенностей вегетационного периода, состояния и возраста ели [1]. В результате предварительных лабораторных опытов для дальнейшего испытания в полевых условиях использованы ЛСТ нитрозированные, ЛСТ хлорированные и ЛИНИТ с концентрацией 10 %. Для сравнения была заложена контрольная площадка с ручной прополкой и участки с обработкой раундапом и зелеком (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

Влияние веществ группы ЛСТ на сорную растительность

Биологическая группа сорных растений*	I учет			II учет			
	Встречаемость, %	Обилие, шт./м ²	Средняя высота, см	Встречаемость, %	Обилие, шт./м ²	Средняя высота, см	Биомасса, г/м ²
<i>Поле с сеянцами ели 2-го года выращивания</i>							
Контроль (ручная прополка)							
Многолетние в-п	75,0	2,7	33,3	75,0	18,7	31,9	32,4
Многолетние в-м	100,0	1,1	8,4	100,0	10,5	9,5	14,5
Многолетние в-н	100,0	2,0	25,4	100,0	14,2	25,0	26,3
Малолетние	50,0	1,8	32,4	100,0	19,6	22,6	45,5
<i>Среднее</i>	81,3	1,9	24,9	93,8	15,7	22,3	29,7
ЛСТ нитрозированные (10 %, 0,2 л/м ²)							
Многолетние в-п	75,0	4,0	31,1	50,0	3,2	17,1	17,5
Многолетние в-н	100,0	3,2	20,5	100,0	5,0	19,6	10,6
Малолетние	100,0	6,5	18,9	100,0	4,4	16,2	12,3
<i>Среднее</i>	91,7	4,6	23,5	83,3	4,2	17,6	13,5
ЛСТ хлорированные (10 %, 0,2 л/м ²)							
Многолетние в-п	50,0	4,0	28,0	12,5	2,0	8,0	4,5
Многолетние в-м	100,0	2,2	9,5	100,0	2,0	8,6	12,2
Многолетние в-н	100,0	3,5	37,5	100,0	3,5	16,5	11,3
Малолетние	100,0	4,0	26,2	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Среднее</i>	87,5	3,4	25,3	56,3	1,9	8,3	7,0
ЛИНИТ (10 %, 0,2 л/м ²)							
Многолетние в-п	75,0	3,4	22,6	50,0	1,2	13,4	5,4
Многолетние в-м	100,0	1,6	8,6	100,0	1,1	6,5	2,2
Малолетние	100,0	3,2	19,9	100,0	1,0	16,0	2,6
<i>Среднее</i>	91,7	2,7	17,0	83,3	1,1	12,0	3,4
Зелек (2 л/га)							
Многолетние в-п	75,0	5,0	20,2	0,0	0,0	0,0	0,0
Многолетние в-м	100,0	2,3	6,9	100,0	4,5	6,3	15,3
Малолетние	100,0	1,9	22,3	100,0	6,5	20,1	16,9
<i>Среднее</i>	91,7	3,1	16,5	66,7	3,7	8,8	10,7

Окончание табл. 3

Биологическая группа сорных растений*	I учет			II учет			
	Встречаемость, %	Обилие, шт./м ²	Средняя высота, см	Встречаемость, %	Обилие, шт./м ²	Средняя высота, см	Биомасса, г/м ²
Раундап (2 л/га)							
Многолетние в-п	75	3,6	23,2	25,0	0,7	6,5	4,2
Многолетние в-м	100	2,6	8,2	0,0	0,0	0,0	0,0
Многолетние в-н	100	5,2	22,4	0,0	0,0	0,0	0,0
Малолетние	100	6,2	23,9	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Среднее</i>	93,8	4,4	19,4	6,3	0,2	1,6	1,1
Поле с сеянцами ели 3-го года выращивания							
Контроль (ручная прополка)							
Многолетние в-п	100,0	2,0	29,5	100,0	3,2	24,0	17,6
Многолетние в-м	100,0	1,2	22,4	100,0	1,8	22,4	7,0
Многолетние в-н	100,0	2,5	16,9	100,0	4,2	9,8	19,6
Малолетние	75,0	0,6	19,2	75,0	1,0	16,8	12,6
<i>Среднее</i>	93,8	1,6	22,0	93,8	2,5	18,2	14,2
ЛСТ нитрозированные (10 %, 0,2 л/м ²)							
Многолетние в-п	66,8	1,9	31,2	50,1	0,7	20,0	14,1
Многолетние в-м	100,0	1,8	21,5	100,0	1,8	15,0	12,3
Многолетние в-н	100,0	1,2	18,9	100,0	1,2	16,2	4,5
Малолетние	75,0	0,7	16,7	75,0	0,4	6,8	4,3
<i>Среднее</i>	85,5	1,4	22,1	81,3	1,0	14,5	8,8
ЛСТ хлорированные (10 %, 0,2 л/м ²)							
Многолетние в-п	66,8	1,5	36,6	33,4	0,6	9,3	7,1
Многолетние в-м	50,0	2,5	10,2	50,0	2,2	9,0	5,2
Малолетние	50,0	0,9	20,8	25,0	0,5	6,2	1,6
<i>Среднее</i>	55,6	1,6	22,5	36,1	1,1	8,2	4,6
ЛИНИТ (10 %, 0,2 л/м ²)							
Многолетние в-п	83,5	1,8	29,6	66,8	0,9	18,8	39,3
Многолетние в-м	50,0	2,3	10,2	50,0	2,0	2,2	1,3
Многолетние в-н	100,0	3,3	19,3	100,0	3,0	9,6	2,3
Малолетние	50,0	1,25	19,6	25,0	1,0	7,3	0,9
<i>Среднее</i>	70,9	2,2	19,7	60,5	1,7	9,5	10,9
Раундап, (2 л/га)							
Многолетние в-п	83,5	2,7	33,4	3,3	0,7	11,0	8,5
Многолетние в-м	50,0	2,3	12,4	50,0	2,1	10,6	18,3
Многолетние в-н	100,0	0,5	16,3	0,0	0,0	0,0	0,0
Малолетние	75,0	0,7	15,5	0,0	0,0	0,0	0,0
<i>Среднее</i>	77,1	1,5	19,4	13,3	0,7	5,4	6,7

*в-п – вегетативно-подвижные, в-м – вегетативно-малоподвижные, в-н – вегетативно-неподвижные.

Необходимо отметить, что исследуемые препараты показали больший эффект на поле с сеянцами 2-го года выращивания. Полагаем, что это связано

с более продолжительным формированием устойчивого ценоза сорняков на поле с сеянцами 3-го года выращивания, т. е. легче контролировать численность сорняков на ранних этапах.

Наибольшую опасность и вредоносность представляют многолетние вегетативно-подвижные сорные растения, размножающиеся преимущественно вегетативным путем [7]. Из данных, представленных в табл. 4, видно, что наибольшую эффективность против сорняков данной группы показали лигно-сульфонаты хлорированные с концентрацией 10 % (74,7 ... 92,8 %). Высокую эффективность проявляет гербицид раундап (84,4 ... 90,3 %), однако следует подчеркнуть, что послевсходовое опрыскивание препаратами на основе глифосата можно проводить после заложения верхушечных почек и частичного одревеснения побегов у ели. Препарат зелек применяли только по злаковым однодольным растениям (100 %), на остальные группы растений он действует незначительно (14,4 %), обработку проводили только на поле с сеянцами 2-го года выращивания, где встречены представители семейства *Poaceae*.

Т а б л и ц а 4

Эффективность гербицидов (%)

Биологическая группа сорных растений	Поле с сеянцами	
	2-го года выращивания	3-го года выращивания
ЛСТ нитрозированные (10 %, 0,2 л/м ²)		
Многолетние вегетативно-подвижные	88,5	77,9
Многолетние вегетативно-малоподвижные	–	33,3
Многолетние вегетативно-неподвижные	77,9	40,5
Малолетние	83,1	66,7
<i>Среднее</i>	83,2	55,2
ЛСТ хлорированные (10 %, 0,2 л/м ²)		
Многолетние вегетативно-подвижные	92,8	84,4
Многолетние вегетативно-малоподвижные	90,4	41,3
Многолетние вегетативно-неподвижные	85,9	62,8
Малолетние	100	57,2
<i>Среднее</i>	92,3	61,4
ЛИНИТ (10 %, 0,2 л/м ²)		
Многолетние вегетативно-подвижные	90,0	67,3
Многолетние вегетативно-малоподвижные	85,7	42,0
Многолетние вегетативно-неподвижные	–	45,9
Малолетние	62,2	49,3
<i>Среднее</i>	79,2	51,1

Окончание табл. 4

Биологическая группа сорных растений	Поле с сеянцами	
	2-го года выращивания	3-го года выращивания
	Зелек (2 л/га)	
Многолетние вегетативно-подвижные	100,0	–
Многолетние вегетативно-малоподвижные	59,0	–
Многолетние вегетативно-неподвижные	–	–
Малолетние	14,4	–
<i>Среднее</i>	64,4	–
	Раундап (2 л/га)	
Многолетние вегетативно-подвижные	97,2	83,9
Многолетние вегетативно-малоподвижные	100,0	39,1
Многолетние вегетативно-неподвижные	100,0	100,0
Малолетние	100,0	100,0
<i>Среднее</i>	99,3	80,7

Критериями эффективности применения гербицидов для подавления сорной растительности прежде всего следует признать сохранность сеянцев, их развитие и состояние. Сохранность сеянцев ели при обработке модифицированными лигносульфонатами составила 100 %, отпад 2- и 3-летних сеянцев при обработке раундапом составляет соответственно 14,0 и 16,2 %. В ходе опытов установлено, что к обработке химическими препаратами наиболее чувствительны 2-летние сеянцы ели. Средний прирост сеянцев, по сравнению с контролем, снижается в вариантах с обработкой производственными препаратами: до 69,5 % (обработка раундапом) у 2-летних сеянцев, до 84,8 % (обработка раундапом) и до 94,9 % (обработка зелеком) у 3-летних сеянцев ели. Из группы ЛСТ наибольшее влияние на прирост сеянцев оказали ЛСТ нитрозированные. В практике лесопитомнического дела оптимальным соотношением надземной и подземной биомассы сеянцев ели считается 2:1...3:1, при этом снижение доли корневой части отрицательно сказывается на приживаемости посадочного материала [3].

В контрольном варианте соотношение массы надземной и подземной частей составляет 2,4:1,0 и 3,7:1,0. Эффект усугубляется при обработке сеянцев производственными препаратами, в случае применения зелека соотношение составляет 2,6:1,0 и 4,3:1,0 соответственно у сеянцев 2-го и 3-го годов выращивания. При обработке лигносульфонатами этот показатель близок к контролю (табл. 5).

Влияние веществ группы ЛСТ на рост сеянцев ели

Вариант опыта	Доля массы от общей массы растения, %						Соотношение массы надземной и подземной частей	
	2-летние			3-летние			2-летние	3-летние
	хвоя	ствол	корни	хвоя	ствол	корни		
Контроль (без обработки)	50,8	29,6	19,6	52,7	21,0	26,3	2,4:1	3,7:1
ЛСТ (0,2 л/м ²):								
нитрозированные	51,1	28,8	20,1	49,7	21,9	28,4	2,4:1	3,5:1
хлорированные	51,2	29,4	19,4	49,1	22,2	28,7	2,4:1	3,5:1
ЛИНИТ (0,2 л/м ²)	49,4	30,4	20,2	50,1	21,3	28,6	2,3:1	3,7:1
Зелек (2 л/га)	52,1	28,0	19,9	50,1	19,6	30,3	2,6:1	4,3:1
Раундап (2 л/га)	45,6	31,2	23,2	47,7	19,8	32,5	2,2:1	4,0:1

Таким образом, в качестве аналогов производственных гербицидов из предложенных нами модифицированных технических лигносульфонатов выявлен препарат с оптимальной концентрацией, оказывающий незначительное влияние на вегетацию ели и сильный гербицидный эффект на рост и развитие сорной растительности – ЛСТ хлорированные с концентрацией рабочего вещества 10 % (эффективность 61,4 ... 92,3 %).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Егоров А.Б., Бубнов А.А. Система гербицидов для ухода за посевами хвойных пород в лесных питомниках // Лесн. журн. 2013. № 5. С. 71–77. (Изв. высш. учеб. заведений).
- Попов С.Я., Дорожкина Л.А., Калинин В.А. Основы химической защиты растений. М.: Арт-Лион, 2003. 208 с.
- Родин А.Р., Грибков В.В., Никитина А.В. Оптимальное соотношение надземной биомассы посадочного материала и корневых систем хвойных пород // Лесохоз. информ., 1974. № 15. С. 13–14.
- Список пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации: справочное издание // Приложение к журналу «Защита растений». М., 2013. 636 с.
- Charudattan R., Dinoor A. Biological control of weeds using plant pathogens: accomplishments and limitations // XIVth International plant protection congress. Crop Protection. 19: 8-10. Jerusalem, Israel, 2000. P. 691–695.
- Guillemin J.P., Gardarin A., Granger S., Reibel C., Munier-Jolain N., Colbach N. Assessing potential germination period of weeds with base temperatures and base water potentials // Weed Research, 2012. Vol. 53. Iss. 1. P. 76–87.
- Kondrashkina M.I. Dynamics of species composition and abundance of weeds on the sequence plow land; long fallow; plowland // AGRO XXI, 2013. Iss. 1. P. 11–13.
- Owston P.W., Abrahamson L.P., Landis M.L and T.D. Weed management in forest nurseries // Forest Nursery Manual: Production of Bareroot Seedlings. The Hague / Boston / Lancaster, for Forest Research Laboratory. Oregon State University, Corvallis, 1984. P. 193–202.

Поступила 03.12.14

UDC 630*232.325.24

Impact Assessment of Modified Lignosulfonate for the Vegetation of Weeds and *Picea abies* Seedlings in Forest Tree Nurseries

S.N. Marich, Magistracy Student

N.A. Babich, Doctor of Agriculture, Professor

I.M. Babkin, Candidate of Chemistry

Yu.G. Habarov, Doctor of Chemistry, Professor

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russia; e-mail: marich.svetlana@inbox.ru

As an analogue to already existing herbicides, we propose the use of technical lignosulfonates, which are salts of lignosulfonic acids, a byproduct from wood pulp production using sulfite pulping. Unlike other technical lignins, lignosulfonates are well soluble in water, which determines their wide range of use, including as an environmentally safe analog to herbicides. Field experiment were preceded by laboratory tests conducted to evaluate the impact of lignosulfonates on seed germination of *Picea abies* (L.) Karst, as well as to determine the optimal concentration of the most effective weed suppressive types of lignosulfonates. After preliminary tests of various types of lignosulfonate, three of them were used for further experiments: nitrosated technical lignosulfonate, chlorinated technical lignosulfonate, and nitrated technical lignosulfonate (10 % concentration). The field experiments were carried out in the Kadnikov forest nursery (Vologda region). Control areas were hand-weeded, processed with the herbicides «Roundup» or «Zelex». Two- and three-year old seedlings of *Picea abies* in the nursery at the control areas had as shoot-root ratio of 2,4:1 and 3,7:1 respectively. Using lignosulfonates gave similar results. The use of conventional herbicides gave more effect; in the case of «Zelex» it was 2,6:1 and 4,3:1. Evaluating the results, we revealed an optimal concentration for the most suitable lignosulfonate, with a limited impact on the seedlings, but having a great effect on the weeds – chlorinated technical lignosulfonate at a concentration of 10%.

Keywords: technical lignins, herbicide, weeds, forest nursery.

REFERENCES

1. Egorov A.B., Bubnov A.A. Sistema gerbitsidov dlya ukhoda za posevami khvoynykh porod v lesnykh pitomnikakh [Herbicide System for Coniferous Seedlings in Forest Nurseries]. *Lesnoy zhurnal*, 2013, no. 5, pp. 71–77.
2. Popov S.Ya., Dorozhkina L.A., Kalinin V.A. *Osnovy khimicheskoy zashchity rasteniy* [Bases of the Chemical Plant Protection]. Moscow, 2003. 208 p.
3. Rodin A.R., Gribkov V.V., Nikitina A.V. Optimal'noe sootnoshenie nadzemnoy biomassy posadochnogo materiala i kornevykh sistem khvoynykh porod [The Optimal Ratio of Seed's Ground Biomass and Root Systems of Coniferous Species]. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya*, 1974, no. 15, pp. 13–14.
4. Spisok pestitsidov i agrokhimikatov, razreshennykh k primeneniyu na terri-torii Rossiyskoy Federatsii [List of Pesticides and Agrochemicals Permitted for Use in the Russian Federation]. *Prilozhenie k zhurnalu «Zashchita rasteniy»*, Moscow, 2013. 636 p.

5. Charudattan R., Dinoor A. Biological control of weeds using plant pathogens: accomplishments and limitations. *XIVth International plant protection congress. Crop-Protection*. 19: 8-10. Jerusalem, Israel, 2000, pp. 691–695.

6. Guillemin J.P., Gardarin A., Granger S., Reibel C., Munier-Jolain N., Colbach N. Assessing potential germination period of weeds with base temperatures and base water potentials. *Weed Research*, 2012, Vol. 53, Iss. 1, pp. 76–87.

7. Kondrashkina M.I. Dynamics of species composition and abundance of weeds on the sequence plow land; long fallow; plowland, *AGRO XXI*, 2013, Iss. 1, pp. 11–13.

8. Owston P.W., Abrahamson L.P., Landis M.L. and T.D. *Weed Management in Forest Nurseries*. Forest Nursery Manual: Production of Bareroot Seedlings. The Hague/Boston/Lancaster, for Forest Research Laboratory. Oregon State University, Corvallis, 1984, pp. 193–202.

Received on December 3, 2014



МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 620.9:662.818.6

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ
НА МОДУЛЬ ЮНГА ДАВЛЕНИЯ ПРЕССОВАНИЯ
ДРЕВЕСНОЙ ГРАНУЛЫ**

© *О.Д. Мюллер, канд. техн. наук, доц.*

В.И. Мелехов, д-р техн. наук, проф.

Д.Л. Герасимчук, асп.

Н.М. Ключин, ст. преп.

Т.В. Тюрикова, асп.

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

В ряде работ по аналитическому определению математической модели процесса прессования древесной гранулы в цилиндрических каналах матрицы показано, что на величину конечной плотности и, соответственно, качество спрессованной гранулы существенное влияние оказывает модуль Юнга спрессованной древесной шихты. В литературных источниках имеются ограниченные данные по модулю Юнга для пропитанных клеящим материалом измельченных древесных частиц, которые идут на изготовление древесностружечных и древесноволокнистых плит. Отсутствуют достоверные данные о модуле Юнга для спрессованных древесных опилок без клеящего материала. Для восполнения данных по модулю Юнга для спрессованной древесной шихты была создана экспериментальная установка на базе ручного пресса. За базовую схему проведения экспериментов была выбрана схема компрессионного сжатия древесной гранулы в одиночной цилиндрической фильере матрицы, разработаны методики по проведению опытов и обработке экспериментальных данных, выполнены экспериментальные измерения модуля Юнга для древесной шихты из березы, ели и сосны трех фракционных составов при изменении давления прессования шихты от 10 до 60 МПа. Обработка результатов экспериментальных исследований показала, что модуль Юнга древесных гранул линейно растёт с увеличением давления прессования; плотность древесины, из которой изготовлена древесная шихта, оказывает существенное влияние на модуль Юнга спрессованной гранулы: чем она меньше, тем ниже модуль спрессованной гранулы; влияние фракционного состава шихты на модуль Юнга носит обратный характер: чем мельче фракционный состав, тем выше модуль Юнга спрессованной гранулы; для спрессованной мелкодисперсной древесной шихты при рабочих давлениях в прессе-грануляторе модуль Юнга изменяется в пределах 600 ... 2000 МПа, т. е. меньше, чем у цельной древесины при поперечном сжатии (~ 2000 МПа).

Ключевые слова: древесные отходы, опилки, модуль Юнга, давление прессования, древесные гранулы, пресс-гранулятор, матрица, фильера.

Аналитическое определение математической модели процесса прессования древесной гранулы в цилиндрических каналах матрицы показало [1–6], что на величину конечной плотности и, соответственно, на качество спрессованной гранулы существенное влияние оказывает модуль Юнга спрессованной шихты. Однако в литературных источниках практически отсутствуют достоверные данные о модуле Юнга для спрессованной древесной шихты.

Целью настоящего исследования было определение модуля Юнга для спрессованной древесной шихты и влияние на него исходного фракционного состава шихты, породы древесины и давления прессования.

Для проведения экспериментальных исследований был создан экспериментальный стенд, функциональная схема которого представлена на рис. 1, и разработана методика проведения экспериментальных исследований.

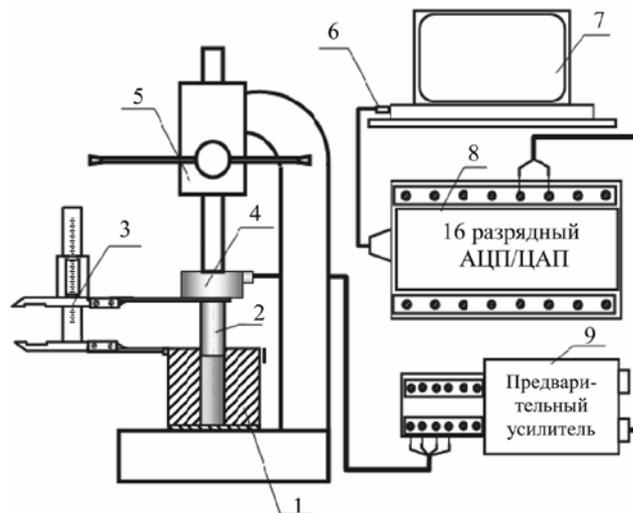


Рис. 1. Функциональная схема экспериментального стенда: 1 – матрица с фильтром диаметром 8 мм; 2 – рабочий плунжер; 3 – электронный датчик перемещения на базе штангенциркуля Electronic digital caliper с точностью измерений 0,01 мм; 4 – датчик силы Dacell типа UM на 2 тс; 5 – ручной пресс AP-2; 6 – интерфейс USB 2.0; 7 – компьютер; 8 – 16-разрядный АЦП/ЦАП; 9 – предварительный усилитель

Для прессования одиночной гранулы была изготовлена цилиндрическая матрица 2 диаметром 50 мм и высотой 50 мм, в центре которой выполнен сквозной цилиндрический канал диаметром 8 мм. Матрица жестко крепится к станине ручного пресса. Для прессования был изготовлен плунжер диаметром 7,9 мм и длиной 55 мм, верхняя часть которого через датчик силы крепится к выдвижному штоку ручного пресса. Плунжер имеет жесткую связь с подвижной ножкой штангенциркуля, неподвижная ножка которого жестко закреплена на корпусе матрицы.

Методика проведения и обработка результатов эксперимента

1. Формирование древесной гранулы:

касанием торцевой поверхностью плунжера через цилиндрическую фильеру матрицы опорной поверхности станины ручного прессы фиксировался «0» измерительной системы;

плунжер выводился из фильеры, фильера заполнялась древесной шихтой;

плунжером с помощью ручного прессы древесная шихта в фильере сжималась до заданного усилия R_i , которое контролировалось с помощью датчика силы на компьютере;

по достижении усилия R_i нагрузка снималась, плунжер выводился из фильеры, освободившееся пространство фильеры заполнялось новой порцией древесной шихты и операция повторялась до тех пор, пока спрессованная гранула почти полностью не заполнит фильеру матрицы;

по окончании формирования древесной гранулы фиксировались показания усилия прессования R_0 .

2. Проведение эксперимента:

при касании торцевой поверхностью плунжера торцевой поверхности гранулы фиксировалось показание штангенциркуля L_0 , которое необходимо для определения длины спрессованной гранулы;

осуществлялась ступенчатая (с остановками) нагрузка плунжера с шагом ΔR ; при каждой остановке нагружения фиксировались усилие сжатия R_i и показания штангенциркуля L_i .

при достижении прикладываемого усилия сжатия $0,8 R_0$ дальнейшее увеличение усилия прекращалось, нагрузка снималась и осуществлялась проверка положения верхнего торца ненагруженной гранулы L_0 .

3. Обработка результатов эксперимента включала определение:

давления прессования:

$$P_{\text{пр}} = \frac{4R_0}{9,81\pi d^2};$$

давления упругого нагружения:

$$P_i = \frac{4R_i}{9,81\pi d^2};$$

упругой деформации древесной гранулы:

$$\Delta l_i = L_0 - L_i;$$

относительной упругой деформации гранулы:

$$\varepsilon_i = \frac{\Delta l_i}{L_0}.$$

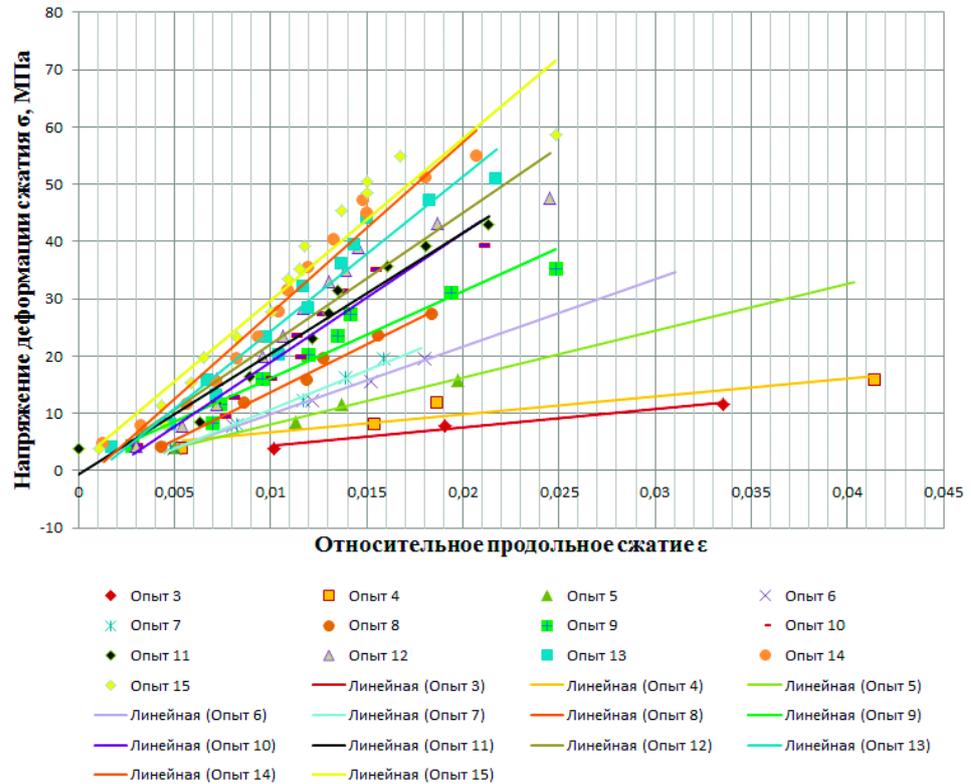


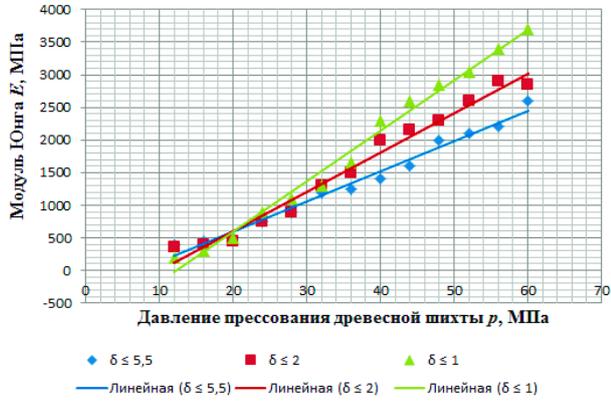
Рис. 2. Зависимость напряжения упругой деформации от относительной линейной деформации древесных гранул (сосна, наибольший размер древесной шихты $\delta \leq 2$ мм)

Для проведения экспериментальных исследований были взяты опилки из сосны, ели и березы. В исследованиях использовали фракционные остатки сосны с максимальными размерами частиц 5,0; 2,0 и 1,0 мм; ели – 2,0; 1,0; 0,5 мм и менее 0,5 мм; березы – 2,0; 1,0 и 0,5 мм. Используемые навески имели влагосодержание 6,7 %. Усилия прессования гранул R_0 изменялись от 20 до 300 кгс с шагом 20 кгс.

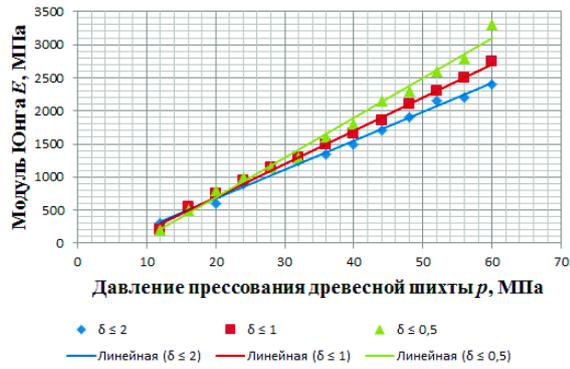
По результатам обработки экспериментальных данных были построены графические зависимости давления сжатия p_i от относительного продольного сжатия ϵ_i для различных значений давления прессования. Пример такой зависимости представлен на рис. 2, из которого видно, что результаты обработки экспериментальных данных достаточно хорошо описываются линейной зависимостью

$$\sigma = a\epsilon + b,$$

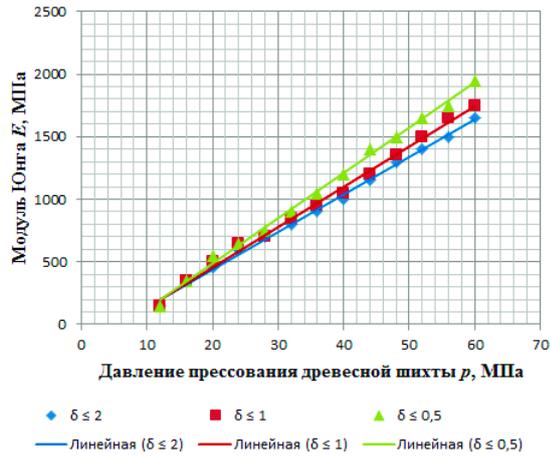
где σ – напряжение деформации сжатия;
 a – модуль Юнга (E).



a



b



v

Рис. 3. Зависимость модуля Юнга древесной гранулы от давления прессования: *a* – сосна, *b* – ель, *v* – береза

По итогам обработки результатов аппроксимации экспериментальных данных по приведенной выше формуле средствами программы Microsoft Excel получены графические зависимости модуля Юнга для древесных гранул в зависимости от давления прессования p (рис. 3).

Выводы

1. Модуль Юнга спрессованных древесных гранул линейно растет с увеличением давления прессования.
2. Плотность древесины, из которой изготовлена древесная шихта, оказывает существенное влияние на модуль Юнга спрессованной гранулы: чем она меньше, тем ниже модуль спрессованной гранулы.
3. Влияние фракционного состава шихты на модуль Юнга носит обратный характер: чем мельче фракционный состав, тем выше модуль Юнга спрессованной гранулы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булатов И.А. Разработка процесса прессового гранулирования мелкодисперсных сред на примере минеральных порошков и древесных отходов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2012. 25 с.
2. Мюллер О.Д., Малыгин В.И., Любов В.К. Влияние параметров технологического оборудования на качественные показатели древесных гранул // Лесн. журн. 2012. № 2. С. 33–43. (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Akintunde M.A. The effects of paper and palm kernel shell on mechanical properties of sawdust briquettes // IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering. Nov.-Dec. 2012. Vol. 4, Iss. 4. P. 11–16.
4. Carlos Salas-Bringas, Tore Filbakk, Geir Skjevraak, Odd-Ivar Lekang, Olav Hoibo and Reidar Barfod Schyuller. Compression rheology and physical quality of wood pellets pre-handled with four different conditions // Annual transaction of the Nordic Rheology Society. 2010. Vol. 18. P. 87–93.
5. Kuti O.A. Evaluation of composite sawdust briquettes as a high grade fuel for Domestic Cooking // Journal of Engineering and Engineering Technology. 2003. Vol 2, N 2. P. 109–115.
6. Puvaneswaran A.P., Hisham S., Kamil Sued M. Investigation on the mechanical characteristics of sawdust and chipwood filled epoxy // Journal of Mechanical Engineering and Technology. January-June 2011. Vol. 3, N. 1. P. 71–78.

Поступила 07.03.14

UDC 620.9:662.818.6

Experimental Determination of the Impact Pressing Pressure of Wood Pellet on the Young's Modulus

O.D. Myuller, Candidate of Engineering, Associate Professor
V.I. Melehov, Doctor of Engineering, Professor

G.L. Gerasimchuk, Postgraduate Student

N.M. Klyushin, Senior Lecturer

T.V. Tyurikova, Postgraduate Student

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

In a number of works on analytical definition of mathematical model of pressing process of a wood pellet in cylindrical channels of a matrix it is shown that on the size of final density and, respectively, quality of the pressed pellet has essential impact the Young's modulus of the pressed wood pellets. In references there are limited data on the Young's modulus for the impregnated gluing material of the crushed wood particles which are used for production of wood-shaving and fiber boards. At the same time there are no reliable data about the Young's modulus for the pressed wood sawdust without the gluing material. For completion of data on the Young's modulus for the pressed wood furnace charge experimental installation on the basis of a manual press was created. For the basic scheme of carrying out experiments the scheme of a wood granule compression in single cylindrical the matrix die was chosen. Techniques on carrying out experiences and processing of experimental data were developed. Experimental measurements of the Young's modulus for wood furnace charge were executed from a birch, a fir-tree and a pine of three fractional structures at change of pressure of furnace charge pressing from 10 to 60 MPa. Processing of results of pilot studies showed: the Young's modulus of wood pellets linearly grows with increase in pressure of pressing; breed of wood of which wood furnace charge is made, has essential impact on the Young's modulus of the pressed pellet, the density of wood of which furnace charge is made is less, the Young's modulus of the pellet pressed from is lower; influence of fractional composition of furnace charge on the Young's modulus has the return character – the smaller fractional structure, the Young's modulus of the pressed pellet is higher; if for whole wood Young's modulus on compression is in limits of 12 GPa for longitudinal compression and about 2 GPa at cross compression, in the pressed whole wood furnace charge with working pressure in the press granulator hesitates ranging from 600 MPa to 2000 MPa, that is it is less, than at whole wood at cross compression.

Keywords: wood waste, sawdust, Young's modulus, the pressing pressure, wood pellets, pelleting press, the matrix, die.

REFERENCES

1. Bulatov I.A. Razrabotka protsessa pressovogo granulirovaniya melkodispersnykh sred na primere mineral'nykh poroshkov i drevesnykh otkhodov:...avtoref. kand.diss. [The Development of Press Granulation Process of Fine-Dispersed Sphere for Example, Mineral Powders and Wood Waste:...Cand.Diss.Abs]. Moscow, 2012.
2. Myuller O.D., Malygin V.I., Lyubov V.K. Vliyanie parametrov tekhnologicheskogo oborudovaniya na kachestvennye pokazateli drevesnykh granul [Effect of Technological Equipment Parameters on Wood Pellets Quality Factors]. *Lesnoy zhurnal*, 2012, no. 2, pp. 33–43.
3. Akintunde M.A. The effects of paper and palm kernel shell on mechanical properties of sawdust briquettes. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, ISSN: 2278-1684, 2012, vol. 4, iss. 4, pp. 11–16.
4. Carlos Salas-Bringas, Tore Filbakk, Geir Skjevraak, Odd-Ivar Lekang, Olav Hoibo and Reidar Barfod Schyuller. Compression rheology and physical quality of wood pellets

pre-handled with four different conditions. Annual transaction of the Nordic Rheology Society, 2010, vol. 18, pp. 87–93.

5. Kuti O.A. Evaluation of composite sawdust briquettes as a high grade fuel for Domestic Cooking. *Journal of Engineering and Engineering Technology*, 2003, vol. 2, no. 2, pp. 109–115.

6. Puvaneswaran A.P., Hisham S., Kamil Sued M. Investigation on the mechanical characteristics of sawdust and chipwood filled epoxy. *Journal of Mechanical Engineering and Technology*, January-June 2011, vol. 3, no. 1, pp. 71–78.

Received on March 7, 2014

УДК 674-419.3

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРЕСС-ФОРМЫ
ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЦЕЛОСТНОСТИ ЛИЦЕВОЙ ПОВЕРХНОСТИ
СКЛЕИВАЕМОЙ РЕЛЬЕФНОЙ ФАНЕРЫ**

© *И.Н. Серпик, д-р техн. наук, проф.*

А.В. Алексейцев, канд. техн. наук, доц.

А.А. Лукаш, канд. техн. наук, доц.

Брянская государственная инженерно-технологическая академия, пр-т Станке Димитрова, 3, г. Брянск, Россия, 241037; e-mail: serpik@online.debryansk.ru

Рельефная фанера склеивается в разнотолщинной пресс-форме, в результате чего на ее лицевой поверхности получается рисунок. Опыт показывает, что в ряде случаев при склеивании шпона возникает разрушение лицевого листа. В связи с этим представляется актуальным определение параметров пресс-формы, обеспечивающих сохранение целостности изготавливаемого изделия. Нами разработана методика расчета напряженно-деформированного состояния пакета слоев шпона. Учитывается физически нелинейное поведение материалов, геометрическая нелинейность, обусловленная влиянием больших перемещений на геометрию рассматриваемой системы, и конструктивная нелинейность, связанная с переменностью контакта пресс-формы и шпона. Анализируются деформации 5-слойного пакета фанеры, изготавливаемой из березового шпона. При этом плита верхней траверсы и расположенная под листами шпона пресс-форма считаются абсолютно жесткими. Рассматривается кинематическое нагружение пакета в условиях плоского деформированного состояния. Расчет выполняется в нестационарной постановке с помощью метода конечных элементов. В соответствии с принципом Даламбера строится система нелинейных дифференциальных уравнений, описывающих динамическое равновесие для дискретизированного объекта. Решение начальной задачи основывается на предпосылке метода Ньюмарка о постоянных значениях ускорений на каждом шаге интегрирования. Для реализации такого подхода к исследованию нелинейного процесса учитывается геометрия системы в деформированном состоянии. При этом используется касательная матрица жесткости конечно-элементной модели, вычисляемая как сумма касательной матрицы жесткости бесконечно малых деформаций, построенной с учетом физической и конструктивной нелинейностей, и матрицы начальных напряжений. На основе математического моделирования условий нагружения листа фанеры определены характеристики напряженно-деформированного состояния склеиваемых слоев при условии применения прямоугольных и скругленных кромок пресс-формы в зоне изменения высоты ее рабочей поверхности. Установлено, что наиболее опасными зонами с точки зрения максимальных напряжений являются участки контакта листов шпона с краями выступов пресс-формы. Определены параметры рассматриваемого технологического процесса, позволяющие получать требуемые рельефы на поверхности изготавливаемого изделия при соблюдении его целостности.

Ключевые слова: слоистая древесина, пресс-форма, склеивание, рельеф, прочность, дифференциальные уравнения, нелинейность, параметры.

Рельефная фанера склеивается в разнотолщинной пресс-форме, в результате чего на ее лицевой поверхности получается рисунок [3, 5]. Опыт изготовления такой фанеры показывает, что в ряде случаев при склеивании шпона возникает разрушение лицевого листа [4]. В связи с этим представляется актуальным определение параметров пресс-формы, обеспечивающих сохранение целостности изготавливаемого изделия.

В настоящей работе данная задача решается для прямоугольной в плане плиты фанеры. Разработана методика расчета напряженно-деформированного состояния пакета слоев шпона. Учитывается физически нелинейное поведение материалов, геометрическая нелинейность, обусловленная влиянием больших перемещений на геометрию рассматриваемой системы, и конструктивная нелинейность, связанная с переменностью контакта рабочей траверсы и шпона. Основы математического аппарата для такого моделирования изложены в работе [6].

Анализируются деформации пятислойного пакета 2 фанеры, изготавливаемой из березового шпона, каждый лист которого имеет размеры $120 \times 1000 \times 1,75$ мм. Пакет сжимается плитой 1 верхней траверсы и пресс-формой 3 нижней траверсы (рис. 1).

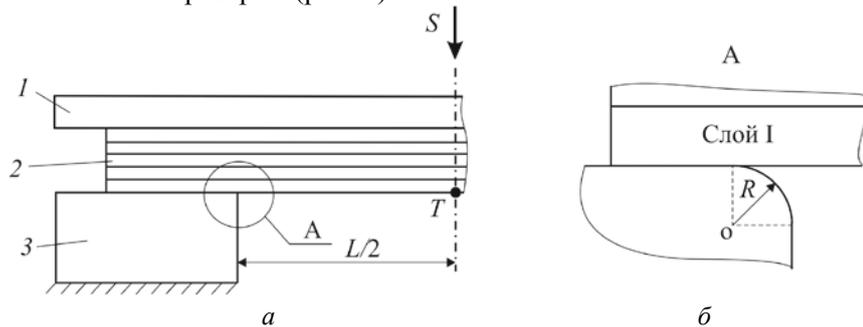


Рис. 1. Пакет шпона в прессе: 1 – плита верхней траверсы; 2 – 5-слойный пакет фанеры; 3 – пресс-форма нижней траверсы (S – направление кинематического нагружения)

Пресс-форма имеет выступы и впадину. Принимается кинематическое нагружение пакета слоев по вертикали верхней траверсой. При этом плита верхней траверсы и пресс-форма считаются абсолютно жесткими. Взаимодействие пакета шпона с телами 1 и 3 в горизонтальном направлении не учитывается.

Предполагается, что пакет из слоев шпона находится в условиях плоского деформированного состояния. Кромки неподвижной траверсы в зонах перехода от впадины к выступам могут иметь скругление радиусом R . Случай отсутствия скругления трактуется как условие $R = 0$.

Рассматривается нестационарный процесс поведения объекта. В соответствии с принципом Даламбера система нелинейных дифференциальных

уравнений динамического равновесия дискретизированной системы представлена в виде

$$[M(\{Z\})]\{\ddot{Z}\} + [C(\{Z\})]\{\dot{Z}\} + \{R(\{Z\})\} = \{F\},$$

где $[M(\{Z\})]$, $[C(\{Z\})]$ и $\{R(\{Z\})\}$ – матрица масс, матрица демпфирования и вектор узловых реакций, зависящие от обобщенных узловых перемещений, выражаемых вектором $\{Z\}$; $\{F\}$ – вектор, учитывающий внешнее нагружение.

Приняты нулевые начальные условия. Решение начальной задачи основывалось на предпосылке метода Ньюмарка о постоянных значениях ускорений на каждом шаге интегрирования. Для реализации такого подхода к исследованию нелинейного процесса учтена геометрия системы в деформированном состоянии. При этом использована касательная матрица жесткости конечно-элементной модели:

$$[K_t] = [K_{\tau_0}] + [K_{\sigma}],$$

где $[K_{\tau_0}]$ – касательная матрица жесткости бесконечно малых деформаций, построенная с учетом физической и конструктивной нелинейностей;

$[K_{\sigma}]$ – матрица начальных напряжений, или геометрическая матрица [7].

В зонах сопряжения тел 1 и 3 со слоями шпона принимаются условия контактной задачи. Силы взаимодействия в зазорах не учитываются. При возникновении контакта автоматически вводятся линейные связи в вертикальном направлении.

Выполнен анализ девяти расчетных моделей для всех сочетаний значений $L = 20, 40$ и 80 мм; $R = 0, 1$ и 2 мм. Механические параметры шпона установлены с учетом [1, 2] и экспериментальных данных, полученных при изготовлении фанеры такого типа. При этом предел прочности березовых образцов лущеного шпона вдоль волокон древесины принят равным 130 МПа, предел прочности по касательным напряжениям, направленным поперек волокон, 4 МПа.

На рис. 2 показан вид деформированного состояния пакета, полученный при его конечно-элементном моделировании для $L = 40$ мм, $R = 0$, $P = 2$ МПа, где масштаб изображения перемещений увеличен по сравнению с масштабом представления модели в 10 раз.

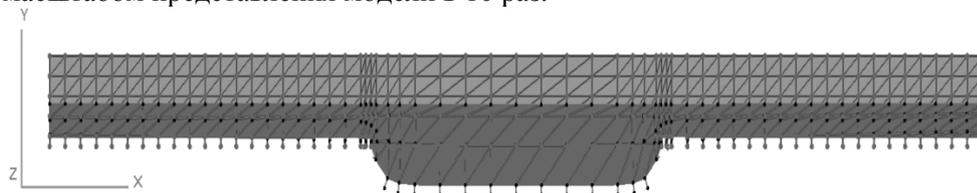


Рис. 2. Характер деформирования исследуемого объекта

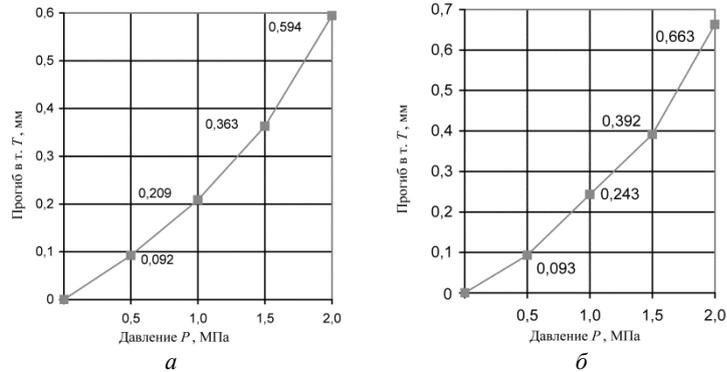


Рис. 3. Зависимости максимального перемещения от давления P :
 $a - R = 1$ мм, $l = 20$ мм; $б - 1$ мм, 40 мм

На рис. 3 приведены графики зависимостей максимальных вертикальных перемещений плиты, возникающих в т. T (см. рис. 1) от среднего давления P на плиту при $R = 1$ мм, $L = 20$ и 40 мм. Из рис. 3 видно, что такие зависимости имеют выраженный нелинейный характер. В результате расчетов установлено, что наиболее опасными зонами с точки зрения максимальных напряжений являются участки контакта листов шпона с краями выступов пресс-формы.

На рис. 4 приведены объемные графики максимальных касательных и нормальных напряжений в этой области при рассматриваемых значениях R и L для средних давлений сжатия пресса $0,5$ и $1,5$ МПа.

Анализ полученных результатов показывает, что при $L = 20$ мм и 40 мм прочность слоя I по касательным напряжениям обеспечивается с существенным запасом для всех рассматриваемых значений R и P . При $L = 80$ мм прочность на срез обеспечивается при всех учитываемых радиусах скругления, однако при $P = 2$ МПа, $R = 1$ мм имеем $\tau = 3,1$ МПа, при $P = 2$ МПа, $R = 2$ мм – $\tau = 3,8$ МПа, что соответственно составляет 78 и 95 % от предела прочности по касательным напряжениям.

Нормальные напряжения не превышают предела прочности на растяжение при следующих параметрах:

для $L = 20$ мм:

$$P \leq 1,5 \text{ МПа}, R = 0, 1 \text{ и } 2 \text{ мм}; P = 2,0 \text{ МПа}, R = 2 \text{ мм};$$

для $L = 40$ мм:

$$P = 0,5 \text{ МПа}, R = 0, 1 \text{ и } 2 \text{ мм}; P = 1 \text{ МПа}, R \geq 1 \text{ мм}; P = 1,5 \text{ и } 2,0 \text{ МПа}, R = 2 \text{ мм};$$

для $L = 80$ мм:

$$P = 0,5 \text{ МПа}, R = 0, 1 \text{ и } 2 \text{ мм}; P = 1,0 \text{ МПа}, R = 0 \text{ и } 1 \text{ мм}.$$

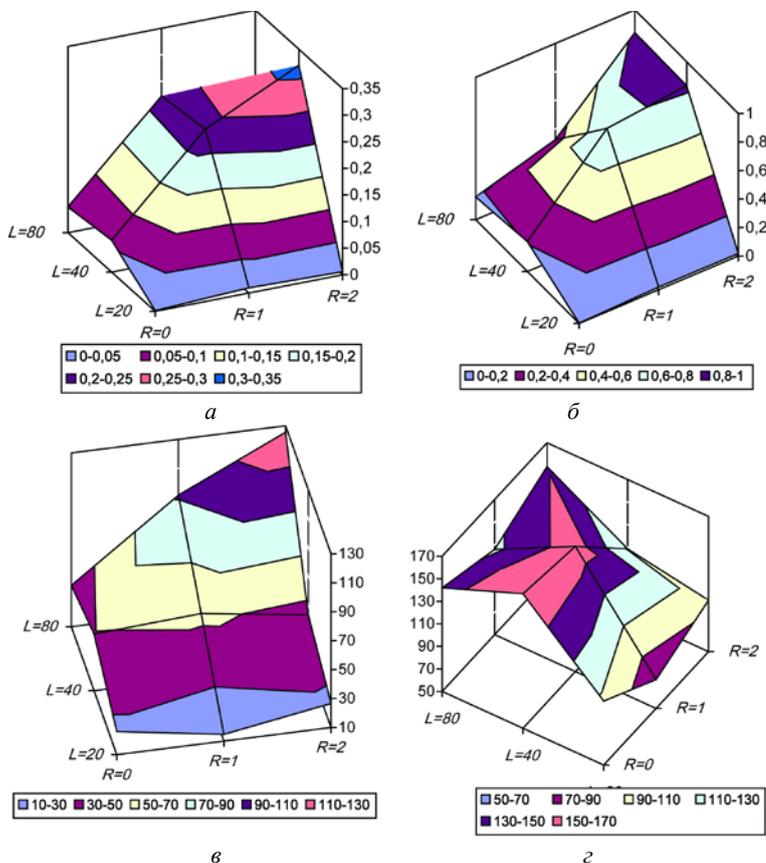


Рис. 4. Максимальные касательные (а, б) и нормальные (в, г) напряжения в направлении поперек (а, б) и вдоль (в, г) волокон: а, в – $P = 0,5$ МПа; б, г – $P = 1,5$ МПа

Выводы

1. На основе исследования процесса нагружения листа фанеры при средних давлениях 0,5; 1,0; 1,5 и 2,0 МПа определены характеристики напряженно-деформированного состояния физической модели при условии применения прямоугольных и скругленных по радиусам ($R = 1$ и 2 мм) кромок нижней траверсы пресс-формы в зоне изменения высоты ее рабочей поверхности.
2. Путем численного анализа установлены параметры рассматриваемого технологического процесса, позволяющие получать требуемые рельефы на поверхности изготавливаемого изделия при соблюдении его целостности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боровиков А.М., Уголев Б.Н. Справочник по древесине. М.: Лесн. пром-сть, 1989. 296 с.
2. Куликов В.А., Чубов А.Б. Технология клееных материалов и плит. М.: Лесн. пром., 1984. 344 с.

3. Лукаш А.А. Технологические особенности производства рельефной фанеры // Лесн. журн. 2008. № 5. С. 92–96. (Изв. высш. учеб. заведений).

4. Лукаш А.А. Деформации древесины при склеивании рельефной фанеры // Лесн. журн. 2011. № 2. С. 119–123. (Изв. высш. учеб. заведений).

5. Пат. 2212334 RU, МКИ³ С 27 В 27, D 3/00. Устройство для склеивания древесных слоистых материалов / Лукаш А.А. № 200013237/13; заявл. 22.12.2000; опубл. 20.09.2003, Бюл. № 26.

6. Серпик И.Н., Лелетко А.А., Алексейцев А.В., Милакова А.А., Горбачев С.М. Оптимальный синтез рамных металлических каркасов гражданских зданий с учетом запроектных воздействий // Теория и практика расчета зданий, сооружений и элементов конструкций. Аналитические и численные методы: сб. тр. II Междунар. науч.-практ. конф. М.: МГСУ, 2009. С. 263–273.

7. Zienkiewicz O.C., Taylor R.L. The finite element method for solid and structural mechanics. Sixth edition. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005. 631 p.

Поступила 06.01.14

UDC 674-419.3

Press Mold Characterization to Ensure the Integrity of the Front Face of the Bonding Relief Plywood

I.N. Serpik, Doctor of Engineering, Professor

A.V. Alekseytsev, Candidate of Engineering, Associate Professor

A.A. Lukash, Candidate of Engineering, Associate Professor

Bryansk State Academy of Engineering and Technology, Stanke Dimitrov pr., 3, Bryansk, 241037, Russia; e-mail: iserpik@online.debryansk.ru

Relief plywood is glued in press mold with gage interference, what results in a picture on its front face. The practice of such plywood production shows that front sheet is destroyed in a number of cases of gluing veneer sheet. Therefore determination of press mold parameters ensuring integrity of the production is of special value. The article considers a method used to calculate stress-strain condition of a package of veneer layers. Physical non-linear behavior of materials, geometric nonlinearity caused by the influence of great displacements on geometry of the considered system and structural nonlinearity related to variability of contact between press mold and veneer sheet is considered. Deformation of five-layer package of plywood, produced from birch veneer is analyzed. Whereas the upper traverse plate and press mold, located above veneer layers, are considered absolutely rigid. Kinematic loading of the package is considered in plane flat deform condition. Calculation is made in a nonstationary formulation with the finite elements method. According D'Alembert's principle a system of nonlinear differential equations, describing dynamic balance for a sampled object is built. Solution of the initial-value problem is based on prerequisite of Newmark method about constant values of accelerations at every stage of integration. System geometry in deformed condition has been taken into account for realization of such approach to study of non-linear process. Whereas tangential stiffness matrix of finite element model, calculated as a sum of tangential stiffness matrix of infinitesimal deformation, built with regard to physical and structural non-linearity and initial stress matrix has been used. Characteristics of stress-strain condition of gluing layers have been determined on the base of mathematical modeling of the plywood sheet loading with regard to application of rectangular and round-

ed edges of the press mold in the place where height of its working surface is changed. It has been established that areas of contact of veneer layers with edges of the press mold are the most dangerous zones in terms of maximum stresses. Parameters of considered technological process that enable obtaining required reliefs on the surface of fabricated produce, keeping its integrity have been determined.

Keywords: plywood, press-mold, bonding, relief, strength, differential equations, nonlinearity, parameters.

REFERENCES

1. Borovikov A.M., Ugolev B.N. *Spravochnik po drevesine* [Wood Reference Guide]. Moscow, 1989. 296 p.
2. Kulikov V.A., Chubov A.B. *Tekhnologiya kleenykh materialov i plit* [Technology of Glued Materials and Plates]. Moscow, 1984. 344 p.
3. Lukash A.A. Tekhnologicheskie osobennosti proizvodstva rel'efnoy fanery [Technological Characteristics of Producing Relief Plywood]. *Lesnoy zhurnal*, 2008, no. 5, pp. 92–96.
4. Lukash A.A. Deformatsii drevesiny pri skleivanii rel'efnoy fanery [Wood Deformations at Glueing Relief Plywood]. *Lesnoy zhurnal*, 2011, no. 2, pp. 119–123.
5. Lukash A.A. *Ustroystvo dlya skleivaniya drevesnykh sloistykh materialov* [Device Used to Glue Wooden Laminated Materials]. Patent RF, no.200013237/13.
6. Serpik I.N., Leletko A.A., Alekseytsev A.V., Milakova A.A., Gorbachev S.M. Optimal'nyy sintez ramnykh metallicheskih karkasov grazhdanskikh zdaniy s uchetom zaproektnykh vozdeystviy [Optimum Synthesis of Framed Metal Structures of Civil Building with Regard of Emergency Actions]. *Teoriya i praktika rascheta zdaniy, sooruzheniy i elementov konstruksiy. Analiticheskie i chislennye metody* [Theory and Practice of Calculation for Buildings, Constructions and Elements of Structures. Analytical and Numerical Methods. Collected Papers]. Moscow, 2009, pp. 263–273.
7. Zienkiewicz O.C., Taylor R.L. The finite element method for solid and structural mechanics. Sixth edition. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann. 2005. 631 p.

Received on 06.01.14

УДК 674.093

ВЫБОР РЕЖИМОВ ЛАЗЕРНОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НОЖЕЙ РУБИТЕЛЬНЫХ МАШИН ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ СУХОСТОЙНОЙ ДРЕВЕСИНЫ

© *А.Е. Алексеев, д-р техн. наук, проф.*

А.И. Думанский, зав. лаб.

И.О. Думанский, канд. техн. наук, доц.

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Сев. Двины, 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: i.dumanskij@agtu.ru

Сухостойная древесина имеет высокие прочность и твердость. Это приводит к значительному абразивному износу лезвия ножа рубительной машины при выработке щепы из такой древесины. Требование к материалу ножей в этом случае – более высокая твердость режущей кромки (HRC 62...65 в сравнении с традиционной HRC 56...58) при необходимой динамической прочности. Их нельзя получить подбором особого легирования сталей или корректировкой режимов традиционной термообработки. Требуемых характеристик можно достичь лазерной термообработкой лезвия ножа, сформировав в нем особое структурное состояние стали. Использование лазерной термообработки для легированных сталей ножей представляет ряд проблем, главная из которых – отсутствие научно обоснованных режимов этой обработки. Целью данной работы являлась разработка таких режимов. Исследования проведены на стандартных ножах из стали 6X7BCMФ на лазерной установке «Квант-15». В ходе экспериментов изучено влияние мощности излучения при постоянном диаметре излучения на твердость поверхностного слоя и количество остаточного аустенита в зоне лазерного воздействия. Мощность излучения регулировали изменением напряжения заряда конденсаторов накачки. Зоны лазерного воздействия располагались без перекрытия при изменении напряжения заряда конденсаторов в диапазоне 400...850 В с шагом 50 В, коэффициентом перекрытия 0,50 и 0,75. Оптимизацию проводили по трем факторам: максимальной твердости зоны лазерного воздействия, минимальному (не более 5 %) содержанию в этой зоне остаточного аустенита, минимальной степени оплавления. В результате определен оптимальный режим лазерной обработки импульсами диаметром 3,0 мм при частоте их следования 2 Гц и скорости перемещения луча 3 мм/с, что обеспечило коэффициент перекрытия, равный 0,5, при напряжении конденсаторов накачки 750...800 В, соответствующем энергии лазерного импульса 5...6 Дж. При этом оптимальная структура лезвия достигается при твердости HRC 63...64 и высокой динамической прочности.

Ключевые слова: сухостойная древесина, рубительные машины, легированные стали, лазерная термообработка.

Механические свойства сухостойной древесины, определяющие особенности процесса резания в рубительных машинах для ее переработки, значительно отличаются от свойств свежесрубленной древесины. Эти особенности определяются более высокими для сухостойной древесины показателями прочности и твердости, а также повышенным содержанием ферментирован-

ных до твердого состояния смол и пониженным содержанием влаги, особенно во внешних слоях, через которые происходит ударное врезание ножа при переработке такой древесины в технологическую щепу. Такие характеристики сухостойной древесины ведут к значительному абразивному износу лезвия ножа, снижению его ресурса до очередной переточки и, как следствие, снижению общей эффективности процесса переработки как по производительности, так и по качеству получаемой щепы (уход от стандарта по фракционному составу и геометрическим параметрам элементов щепы).

Анализ литературных данных, касающихся процесса резания в рубительных машинах [8], а также опыт использования легированных инструментальных сталей для обработки материалов повышенной твердости и абразивности, позволяют определить необходимые требования к материалу ножей рубительных машин при переработке сухостойной древесины для обеспечения высоких показателей их ресурса и достижения необходимой эффективности процесса переработки.

Эти требования сводятся, прежде всего, к достижению более высокой твердости режущей кромки (лезвия) ножа при сохранении необходимой динамической прочности (стойкости к выкрашиванию и разрушению при ударном воздействии) как режущей кромки, так и тела ножа.

Твердость режущей кромки ножа в этом случае необходимо повысить до HRC 62...65 (в сравнении с традиционной HRC 56...58) при сохранении в ее структуре в максимальной степени высокотвердой карбидной фазы и некоторого количества относительно мягкого остаточного аустенита в качестве релаксирующей при ударном воздействии связки, обеспечивающей стойкость лезвия к выкрашиванию.

Для обеспечения динамической прочности тела ножа необходимо при достижении высокой твердости лезвия (HRC 62...65) сохранить исходную (стандартную) структуру и свойства материала на удалении 10...15 мм от лезвия и стандартное распределение твердости по всей ширине ножа (1/3 со структурой сорбита по ГОСТ 17342–81) [6].

Анализ литературных источников [1, 7] показывает, что требования к материалу ножей рубительных машин, определенные выше, не могут быть реализованы подбором особого легирования сталей для изготовления ножей рубительных машин или корректировкой режимов традиционной термической обработки. Тем более, этого невозможно достичь в эксплуатационных условиях при использовании стандартных ножей и возможностей обслуживающего производства предприятия.

Требуемые прочностные и ресурсные характеристики материала ножей могут быть достигнуты путем использования применительно к стандартным ножам локальной (вдоль режущей кромки) лазерной термической обработки (ЛТО) промышленными импульсными лазерами или лазерами непрерывного излучения. Обеспечиваемая в таком случае минимальная зона термического влияния лазерного излучения позволяет сохранить структуру и свойства тела

ножа без изменений, при этом в зоне лазерного воздействия (ЗЛВ) может быть сформирована структура сверхмелкозернистого свежезакаленного мартенсита при сохранении (почти без растворения) высокотвердых карбидов с прослойками остаточного аустенита.

Использование ЛТО для локального упрочнения режущего инструмента используется достаточно широко, но применительно к ножам рубительных машин имеется ряд проблем: отсутствие информации о влиянии ЛТО на износостойкость инструментальных легированных сталей, используемых для изготовления ножей, и научно обоснованных режимов ЛТО, которые могут быть использованы при упрочнении ножей рубительных машин.

Целью данной работы являлась разработка технологического процесса упрочнения ножей рубительных машин с использованием ЛТО для получения необходимой их износостойкости при переработке сухостойной древесины.

Материалы и методики исследования

В качестве объекта исследования выбраны широко распространенные ножи рубительных машин, изготовленные по ГОСТ 17342–81 [6].

Химический состав материала исследуемых ножей определяли с помощью дугового дифрактометра. Сравнение исследуемой стали со стандартной показало, что по основным химическим элементам ее состав близок к стандартному, за исключением несколько большего содержания хрома (8,74 %). Это не должно было серьезно сказаться на механизмах и кинетике фазовых превращений при термической обработке (в том числе и лазерной).

Сталь 6Х7ВСМФ относится к инструментальным легированным штамповым сталям высокой прокаливаемости и повышенной вязкости [9]. По равновесной структуре сталь доэвтектоидная, в закаленном состоянии – мартенситного класса. Структура стали в отожженном состоянии – сорбитообразный перлит + карбиды, в закаленном состоянии (закалка 1050 °С, масло) – мартенсит, остаточный аустенит и карбиды при твердости HRC 60...62, после отпуска (560...570 °С) в течение 2 ч – троостомартенсит или троостит + карбиды + остаточный аустенит ($\leq 3\%$) с твердостью HRC 56...58 [2, 9].

Лазерная термическая обработка исследуемых образцов выполнялась на установке лазерной сварки, резки и термообработки «Квант-15», которая сфокусированным лазерным излучением позволяет производить локальную термообработку металлов (упрочнение, отпуск, нормализация) со скоростью до 10 имп./с и диаметром фокального «пятна» до 2 мм.

В качестве объектов для исследования и оптимизации режимов ЛТО использовали полноразмерный нож рубительной машины с исходной традиционной термической обработкой, состоящей из объемной закалки (нагрев в печи до 1050 °С, выдержка 10...12 мин, закалка в масле) и последующего отпуска в течение 2 ч при температуре 550...560 °С.

Выбор постоянных и переменных факторов эксперимента основан на анализе литературных данных по ЛТО высоколегированных

инструментальных сталей, а также на главной цели исследования – поиске оптимальных режимов ЛТО, позволяющих достичь максимально высокой твердости режущей кромки ножа при достаточной степени равномерности свойств вдоль всей лезвийной области. Принимая во внимание требования получения максимальной производительности и возможно наибольшей ширины ЗЛВ в качестве постоянных факторов были приняты: максимальный диаметр пятна лазерного луча – 3 мм, максимальная длительность импульса – 5 мс. Таким образом, плотность энергии излучения, которая определяет эффект и результат лазерного воздействия на поверхность ножа, в этом случае зависит только от энергии импульса излучения, которая, в свою очередь, является функцией напряжения конденсаторов накачки установки. Это напряжение принято главным переменным фактором.

Кроме напряжения конденсаторов накачки, в части эксперимента, касающейся отработки реальной технологии ЛТО ножа (режима моторизованного перемещения, обеспечивающего равномерность свойств по длине лезвия), в качестве дополнительного переменного фактора принят коэффициент перекрытия и, как функция коэффициента перекрытия – скорость перемещения ножа при ЛТО.

Оценочные показатели и методы их измерения

Твердость ЗЛВ – один из основных показателей, характеризующий эффективность применения ЛТО. Твердость ЗЛВ измеряли на следующих участках: на поверхности, по глубине, в переходных зонах. На изменение твердости по глубине и на поверхностную твердость оказывает влияние напряжение зарядки конденсаторов, на твердость переходных зон – еще и коэффициент перекрытия.

Твердость поверхности ЗЛВ на экспериментальных образцах измеряли по методу Виккерса (ГОСТ 2999–75 [3]) на твердомере ТП-7Р-1 (ГОСТ 23677–79 [5]) при нагрузке на индентор 49 Н и времени выдержки под нагрузкой 15 с, микротвердость по ЗЛВ – по ГОСТ 9450–76 [4] на микротвердомере ПМТ-3 с ахроматическим эпиобъективом ($F = 6,16$, $A = 0,65$) и 15-кратным окуляром при нагрузке 100 г и времени выдержки под нагрузкой 5 с.

Диаметр ЗЛВ измеряли отсчетным микроскопом МПБ-2 с точностью до 0,05 мм. Но там, где границы зон лазерного воздействия были нечеткими или имели искажения, измерения проводили с точностью до 0,1 мм.

Анализ микроструктуры зон лазерного воздействия позволяет изучить процессы, происходящие в металле при лазерном излучении, а также путем идентификации закалочных структур выяснить причины получения высокой твердости.

Рентгеноструктурный анализ проведен на дифрактометре ДРОН-3 с использованием излучения железа (Fe) на длине волны $1,93728\text{\AA}$ при напряжении на трубке 30 кВ и токе 15 мА. Характеристики входной щели 2-1-1. Дифрактограммы снимали по точкам, шаг сканирования $0,2^\circ$;

экспозиция 20 с; без фильтра. Были исследованы линии $\{200\}_\alpha$ и $\{110\}_\alpha$ мартенсита и линии $\{111\}_\gamma$ и $\{200\}_\gamma$ остаточного аустенита в диапазонах углов $80...90^\circ$, $53...60^\circ$ и $60...70^\circ$. По дифрактограммам оценивали количество остаточного аустенита в структуре, степень неоднородности мартенсита и степень искажения его решетки, количество углерода в мартенсите, степень прохождения начальных стадий отпуска (двухфазный распад).

Объем, содержание и последовательность проведения опытов

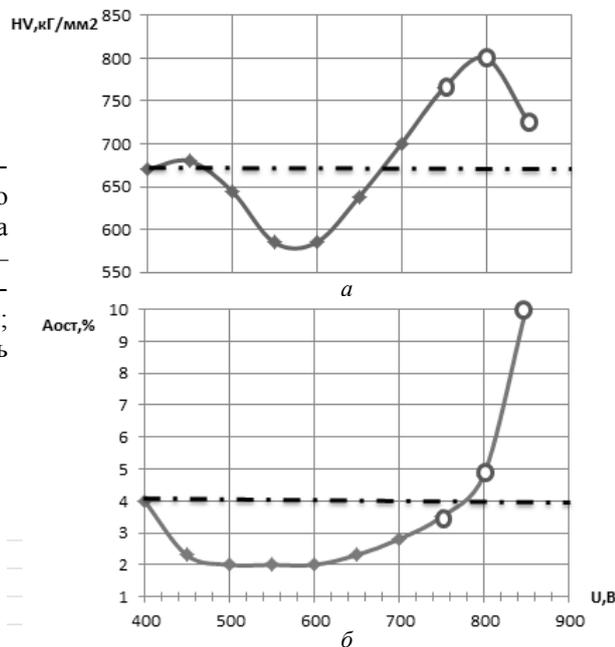
Опыты проводили в целях определения влияния режимов лазерной термической обработки на глубину, ширину, твердость и микроструктуру формируемых при этом ЗЛВ. В ходе экспериментов исследовали влияние мощности излучения на твердость поверхностного слоя и количество остаточного аустенита в зоне лазерного воздействия при постоянном диаметре импульса излучения. Мощность излучения регулировали изменением напряжения заряда конденсаторов накачки. ЗЛВ располагались без перекрытия при изменении напряжения заряда конденсаторов в диапазоне 400...850 В с шагом 50 В, а также с коэффициентом перекрытия 0,50 и 0,75. После ЛТО с перекрытием путем измерения микротвердости, глубины закаленного слоя, а также анализа микроструктуры ЗЛВ уточняли наиболее приемлемый для упрочнения исследуемого объекта коэффициент перекрытия при оптимальном напряжении заряда конденсаторов накачки.

Результаты исследований и их обсуждение

По результатам первой серии опытов был получен график (см. рисунок) зависимости твердости (HV) зон лазерного воздействия и количества остаточного аустенита ($A_{ост}$) в них от напряжения (U) конденсаторов накачки (энергии импульса излучения) с целью определить оптимальный уровень этого параметра. Оптимизацию проводили по трем факторам: максимальной твердости ЗЛВ, минимальному (не более 5%) содержанию в ЗЛВ остаточного аустенита ($A_{ост}$) и минимальной степени оплавления. Оценка количества остаточного аустенита обеспечила надежную фиксацию режима с небольшой степенью растворения карбидной фазы и, следовательно, с максимальной долей наиболее высокотвердых фаз в структуре материала ножа – мартенсита и карбидов вольфрама, хрома и молибдена. Требование минимизации оплавления в ЗЛВ (еще лучше – полного отсутствия оплавления) обеспечивает минимальный объем металла при правке лезвия ножа ЛТО и, как следствие, увеличение ресурса ножа между повторными ЛТО в процессе эксплуатации ножей.

Анализ графиков показал, что по мере роста энергии лазерного излучения вначале (при $U = 400...450$ В) происходит некоторое нарастание твердости и снижение количества остаточного аустенита, связанное, видимо, с эффектами распада остаточного аустенита в исходной структуре и вторичного твердения за счет довыделения тугоплавких карбидов вольфрама и молибдена. В диапазоне 450...600 В сталь претерпевает отпускные явления и

Влияние напряжения конденсаторов накачки (энергии лазерного излучения) на свойства материала ножа в ЗЛВ: *a* – твердость, *b* – количество остаточного аустенита (○ – оплавление поверхности; - · - - – исправленный уровень параметров (до ЛТО))



разупрочняется. При уровне напряжения 600...650 В активируется процесс аустенизации и последующего мартенситного превращения – идет закалка. Рост твердости (до $HV_{\max} = 800 \text{ кг/мм}^2$) продолжается до $U = 750...800 \text{ В}$, затем твердость снижается за счет роста количества остаточного аустенита, являющегося следствием активного растворения карбидов и легирования твердого раствора тугоплавкими элементами. Такой эффект объясняется высокими температурами в ЗЛВ. Об этом свидетельствует и наличие значительного оплавления ЗЛВ при $U > 800 \text{ В}$, элементы которого фиксируются уже с напряжения 750 В.

Учитывая установленные закономерности и указанные выше факторы оптимизации (максимальную твердость, минимальное количество остаточного аустенита и степень оплавления в ЗЛВ), определяли оптимальный режим лазерной обработки одиночными импульсами диаметром 3,0 мм: напряжение конденсаторов накачки $U = 750...800 \text{ В}$, что соответствует энергии лазерного импульса $E = 5...6 \text{ Дж}$.

В качестве факторов оптимизации для выбора необходимого коэффициента перекрытия приняты наибольшая глубина и наилучшая равномерность поверхности ЗЛВ. Анализ полученных результатов показал, что при исследуемых коэффициентах перекрытия глубина зон практически равна и составляет 150...180 мкм, причем границы этих зон достаточно четкие (переходная зона по глубине не превышает 10...15 мкм).

В структуре ЗЛВ (мартенсит закалки с микротвердостью $HV_{\max} = 947 \text{ кг/мм}^2$) на глубине от поверхности 15...20 мкм наблюдается зона

с несколько повышенной твердостью, что связано с особенностями получения при высоких скоростях нагрева и охлаждения так называемого «свежезакаленного» мартенсита повышенной твердости. В переходной зоне по глубине имеет место резкое снижение микротвердости от 947 (мартенсит закалки) до 454 кг/мм² (троостомартенсит – структура тела ножа до термообработки). Переходные участки между зонами воздействия соседних лазерных импульсов имеют протяженность, не превышающую 80 мкм. Причем изменение микротвердости показывает, что мартенсит закалки (HV = 947 кг/мм²) претерпевает некоторый отпуск – образовался мартенсит отпуска с твердостью HV = 657...767 кг/мм².

Таким образом, для получения достаточного по глубине и структурно равномерного по ширине упрочненного слоя можно рекомендовать следующий режим лазерной термической обработки: диаметр зоны лазерного воздействия $D = 3,0$ мм; напряжение заряда конденсаторов накачки $U = 800$ В; коэффициент перекрытия $K_{\text{п}} = 0,5$.

Выводы

1. Подтверждена высокая эффективность лазерной термической обработки. Получаемый упрочненный слой на глубине 150...170 мкм имеет однородную структуру и свойства. Структура упрочненного слоя представляет собой свежезакаленный мартенсит микротвердостью HV = 947 кг/мм² с четкими границами по глубине и переходными зонами незначительной протяженности (менее 15 мкм) твердостью HV = 947...454 кг/мм². Средняя твердость лезвия – 800 кг/мм² (HRC 63-64).

2. Наилучшие характеристики зон лазерного воздействия достигнуты при следующих режимах ЛТО: диаметр зоны лазерного воздействия 3,0 мм, коэффициент перекрытия $K_{\text{п}} = 0,5$, напряжение зарядки конденсаторов $U = 800$ В (что соответствует лазерному воздействию с незначительным оплавлением поверхности).

3. Получаемая глубина закаленного слоя (150...170 мкм) достаточна для 3–5 переточек изношенного лезвия (при щадящих режимах заточки). Изменение свойств закаленного слоя по ширине на поверхности относительно невелико, поскольку малопротяженные (менее 80 мкм) переходные зоны, выходящие на поверхность, имеют незначительное падение твердости (HV = 657...767 кг/мм²). При переточках в определенных пределах их ширина будет меняться незначительно.

4. Результаты исследований позволяют рекомендовать использование разработанного режима лазерной термической обработки для упрочнения режущих кромок ножей рубительных машин при переработке сухой древесиной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воскресенский С.А. Резание древесины. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1955. 200 с.

2. Геллер Ю.А. Инструментальные стали. 5-е изд. М.: Металлургия, 1983. 527 с.
3. ГОСТ 2999–75. Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Виккерсу.
4. ГОСТ 9450–76. Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников.
5. ГОСТ 23677–79. Твердомеры для металлов. Общие технические требования.
6. ГОСТ 17342–81. Ножи рубительных машин. Введ. М.: Изд-во стандартов, 1981.
7. Калинин Д.М. Режущий инструмент в деревообработке. М.: Гослестехиздат, 1935.
8. Пижурич А.А., Розенблит М.С. Исследования процессов деревообработки. М.: Лесн. пром-сть, 1984. 232 с.
9. Справочник по конструкционным материалам / Под ред. В.Н. Арзамасова. М.: Изд-во МГТУ, 2006. 637 с.

Поступила 16.01.14

UDC 674.093

Mode Selection of Laser Thermal Treatment of Chipping Machine Knives for Deadwood Processing

A.E. Alekseev, Doctor of Engineering, Professor

A.I. Dumanskiy, Head of Laboratory

I.O. Dumanskiy, Candidate of Engineering, Associate Professor

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russia; e-mail: i.dumanskiy@agtu.ru

Deadwood shows high durability and hardness. It leads to considerable abrasive wear of chipper knife's edge during deadwood chip processing. In this case material requirements are the following: higher hardness of cutting edge (HRC 62...65 compared with traditional HRC 56...58) on retention of adequate dynamic strength. These characteristics are unachievable by selection of exclusive steel alloying or adjustment of traditional thermal treatment modes. Demanded characteristics can be obtained during laser thermal treatment of chipper knife's edge, by building up a special structural condition of steel. Laser thermal treatment adoption for chipper knife's alloy steel introduces many problems. Deficiency of scientific grounded laser thermal treatment modes is the major problem. Our investigation was focused on working out such modes. Conventional chipper knives made of 60Cr7WSiMoV steel were used for laser thermal treatment on laser beam machine "Kvant-15" during scientific investigation. Influence of radiation power on surface coating hardness and quantity of retained austenite in laser impingement point with internal radiation diameter was studied during scientific experiments. Radiation power was regulated by pumping condensers' charge voltage variation. Laser impingement points were arranged without overlapping during condensers' charge voltage variation in the range from 400 to 850 W at a pitch of 50 W, along with overlap ratio 0,5 and 0,75. Three factors were used for optimization: maximum hardness of steel in laser impingement point, minimum percentage (no more 5 %) of retained austenite in laser impingement point and minimum degree of reflowing. Optimal laser processing mode is the following: laser treatment with 3,0 mm diameter shots, 2 Hz pulse repetition frequency and 3 mm/s beam stroking speed. These characteristics provided

overlap ratio equal 0,5, with pumping condensers' charge voltage $U = 750-800$ W relevant to 5...6 J shot power. Optimal edge's structure with hardness HRC 63...64 and high dynamic strength is achieved thereby.

Keywords: deadwood, chipping machine, alloy steel, laser thermal treatment.

REFERENCES

1. Voskresenskiy S.A. *Rezanie drevesiny* [Wood Cutting]. Moscow, Leningrad, 1955. 200 p.
2. Geller Yu.A. *Instrumental'nye stali* [Instrumental Steels]. Moscow, 1983. 527 p.
3. GOST 2999-75. *Metally i splavy. Metod izmereniya tverdosti po Vickersu* [State Standard 2999-75. Metals and Alloys. Vickers Hardness Test].
4. GOST 9450-76. *Izmerenie mikrotverdosti vдавlivaniem алмазных наконечников* [State Standard 9450-76. Diamond-Pyramid Micro-Hardness Test].
5. GOST 23677-79. *Tverdomery dlya metallov. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya* [State Standard 23677-79. Durometers for Metals. General Specifications].
6. GOST 17342-81. *Nozhi rubitel'nykh mashin* [State Standard 17342-81. Chipper Knives].
7. Kalinin D.M. *Rezhushchiy instrument v derevoobrabotke* [Cutting Tool in Wood-Processing]. Moscow, 1935.
8. Pizhurin A.A., Rozenblit M.S. *Issledovaniya protsessov derevoobrabotki* [Wood-Processing Investigation]. Moscow, 1984. 232 p.
9. Arzamasov V.N. *Spravochnik po konstruksionnym materialam* [Construction Materials Guide Book]. Moscow, 2006. 637 p.

Received on January 16, 2014

УДК 624.016

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ И ДЕФОРМАТИВНОСТИ КОМБИНИРОВАННОЙ МЕТАЛЛОДЕРЕВЯННОЙ АРОЧНОЙ КОНСТРУКЦИИ

© *В.В. Стоянов, д-р техн. наук, проф.*

А.А. Бояджи, асп.

Одесская государственная академия строительства и архитектуры, ул. Дидрихсона, 4, г. Одесса, Украина, 65000; e-mail:MDiPK@yandex.ru

С возрастанием загруженности автомобильных дорог в больших городах все острее становится проблема увеличения их пропускной способности. Решить ее можно при помощи устройства надземных пешеходных переходов. Кафедра металлических, деревянных и пластмассовых конструкций Одесской государственной академии строительства и архитектуры занимается исследованием надземных пешеходных переходов пролетом 12...24 м. В данной работе рассматривается вариант арочной конструкции, в которой арка и подвески – металлические, а затяжка – деревянная клееная балка. При проектировании опытной модели в качестве исходных параметров были приняты пролет арочной конструкции, поперечное сечение клееной деревянной балки и число подвесок. Значение расчетной нагрузки в первом приближении задано техническим заданием. Остальные параметры конструкции – высота и сечение арки, расположение и сечение подвесок, окончательная несущая способность конструкции – определены численным линейным расчетом в программном комплексе ЛИРА 9.6 исходя из принятого критерия оптимальности (оптимальным считается тот вариант, для которого при расчетной нагрузке и минимальных прочных размерах в элементах конструкции (арке, балке и подвесках) возникают напряжения, близкие к допускаемым). При расчете варьировались геометрические и прочностные параметры конструкции. Для каждой из комбинаций варьируемых параметров определялись наибольшие напряжения в каждом из элементов конструкции (арке, балке, подвесках) и коэффициенты загруженности. Для каждого поперечного сечения арки и подвесок выделялся вариант конструкции с теми геометрическими параметрами, при которых несущая способность оказывалась наибольшей. Для испытаний был спроектирован и изготовлен специальный стенд, обеспечивающий моделирование равномерно распределенного нагружения конструкции. В результате испытаний установлено, что несущая способность арочной конструкции, спроектированной в соответствии с принятыми критериями оптимальности, на 36 % выше рассчитанной в программном комплексе ЛИРА 9.6 и на 2 % выше полученной при расчете в программном комплексе, учитывающем геометрическую и физическую нелинейность. Проведенные исследования показали, что принятая методика проектирования и предложенный критерий оптимальности могут быть использованы в практике проектирования подобных конструкций.

Ключевые слова: металлодеревянные арочные конструкции, прочность, деформативность.

Возрастание загруженности автомобильных дорог в больших городах приводит к снижению их пропускной способности. Решить эту проблему можно, в том числе, при помощи устройства надземных пешеходных переходов с применением клееных деревянных конструкций [1].

На кафедре металлических, деревянных и пластмассовых конструкций Одесской государственной академии строительства и архитектуры (ОГАСА) проводятся исследования надземных пешеходных переходов пролетом 12...24 м. В одном из проектных вариантов предполагается использовать арочную конструкцию (рис. 1), у которой арка и нижний пояс в виде балки жесткости (затяжки) могут быть выполнены как из дерева, так и из металла.



Рис. 1. Арочный надземный пешеходный переход

Целью исследования является проектирование оптимальной (с точки зрения несущей способности и экономии материала) конструкции [2], изучение ее напряженно-деформированного состояния и сравнение опытных результатов с расчетными.

Для исследования был выбран вариант, в котором в качестве несущих элементов полотна использованы деревянные составные балки, работающие совместно с металлическими арками, т. е. комбинированная конструкция, представляющая собой металлодеревянную ферму. Нагрузка с полотна передается на арки при помощи подвесок.

При проектировании опытной модели в качестве исходных параметров были приняты пролет конструкции (3 м), поперечное сечение клееной деревянной балки (прямоугольник размерами 105×70 мм) и число подвесок (3). Расчетная нагрузка $q = 13,50$ кН/м в первом приближении задана техническим заданием. Остальные параметры конструкции (высота и сечение арки, расположение и сечение подвесок, окончательная несущая способность конструкции) были определены численным линейным методом в программном комплексе (ПК) LIRA 9.6 (рис. 2) исходя из выбранного нами критерия оптимальности. Оптимальным считается тот вариант, для которого при расчетной нагрузке и минимальных размерах в элементах конструкции (арке, балке и подвесках) возникают напряжения, близкие к допускаемым:

$$\sigma_{\text{арк}}^{\text{доп}} = 24 \text{ кН/см}^2; \sigma_{\text{балк}}^{\text{доп}} = 1 \text{ кН/см}^2; \sigma_{\text{подв}}^{\text{доп}} = 24 \text{ кН/см}^2.$$

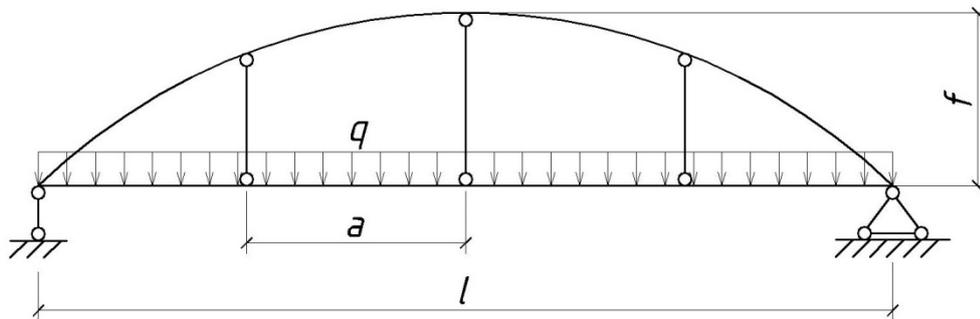


Рис. 2. Расчетная схема

При расчете в ПК LIRA варьировались геометрические и прочностные параметры конструкции: расстояние между средней и боковыми подвесками a – от 0,125 до 0,375 l (l – длина балки) с шагом 0,05 м, высота арки f – от 0,23 до 0,330 l с шагом 0,01 м. Для каждой из комбинаций варьируемых параметров определялись наибольшие напряжения в каждом из элементов конструкции (арке, балке, подвесках) и коэффициенты загруженности:

$$k_{\text{арк}} = \frac{\sigma_{\text{арк}}}{R_y^{\text{арк}}}; k_{\text{балк}} = \frac{\sigma_{\text{балк}}}{R_y^{\text{балк}}}; k_{\text{подв}} = \frac{\sigma_{\text{подв}}}{R_y^{\text{подв}}},$$

где $R_y^{\text{арк}}$ – расчетное сопротивление материала арки (сталь);

$R_y^{\text{балк}}$ – расчетное сопротивление материала нижнего пояса (клееная древесина);

$R_y^{\text{подв}}$ – расчетное сопротивление материала подвески.

Для каждого поперечного сечения арки и подвесок отбирался тот вариант, в котором коэффициенты загруженности отличались друг от друга не более, чем на 5 %. Если значения этих коэффициентов отличались от 1, то расчетную нагрузку q , принятую по техническому заданию, изменяли в $\frac{1}{k}$ раз.

Таким образом, для каждого поперечного сечения арки и подвесок выделялся вариант конструкции (со своими значениями a и f), несущая способность которого оказывалась наибольшей. Если для какой-то комбинации поперечного сечения арки и подвесок варианта с одинаковыми значениями $k_{\text{арк}}$, $k_{\text{балк}}$ и $k_{\text{подв}}$ не оказывалось, то это расценивалось как отсутствие оптимального варианта конструкции при этих параметрах.

На основании проведенных расчетов для экспериментального исследования была принята конструкция со следующими геометрическими характеристиками: пролет конструкции – 3 м; высота арки – 630 мм; число подвесок – 3; расстояние от средней подвески до боковых – 780 мм; сечение деревянной балки нижнего пояса – 105×70 мм; сечение арки – стальная

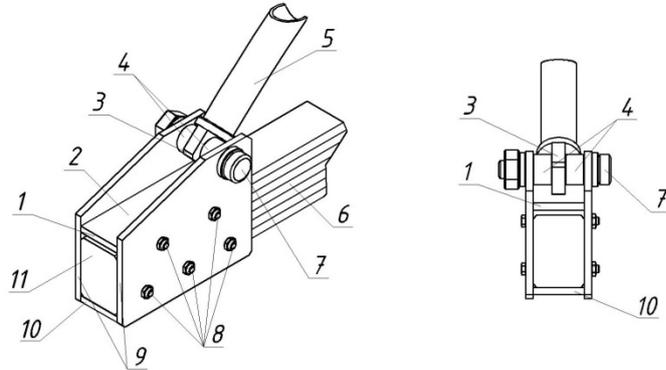


Рис. 3. Узел примыкания арки к балке: 1 – верхняя планка; 2 – башмак; 3 – серьга; 4 – втулки; 5 – арка; 6 – балка (затяжка); 7 – палец; 8 – болты; 9 – боковые щеки; 10 – нижняя планка; 11 – торец башмака

труба диаметром 48 мм с толщиной стенки 3,5 мм; сечение подвесок – стальной стержень диаметром 8 мм.

Характер приложенной нагрузки (равномерная по нижнему поясу) обусловлен работой конструкции в качестве несущего элемента пешеходного перехода. Рассматривались следующие варианты нагрузки конструкции: по всему пролету, на половине и на его четверти. Расчет показал, что наиболее опасна нагрузка, приложенная по всему пролету.

При этом приняты допущения, что соединения арки с балкой, арки и балки с подвесками шарнирные. Конструкции шарнирных узлов представлены на рис. 3–5.

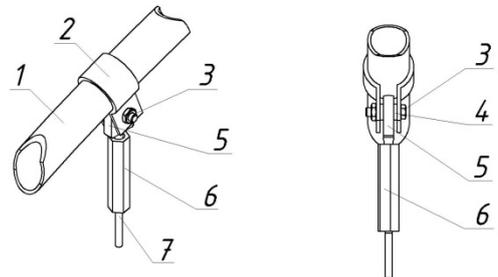


Рис. 4. Узел примыкания подвески к арке: 1 – арка; 2 – хомут; 3 – палец; 4 – втулка; 5 – проушина; 6 – талреп; 7 – подвеска

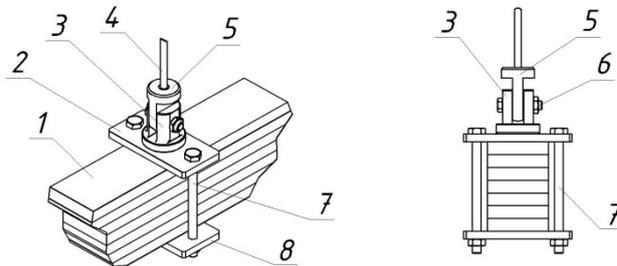


Рис. 5. Узел примыкания подвески к балке: 1 – балка; 2 – верхняя планка; 3 – серьга; 4 – подвеска; 5 – проушина; 6 – вал; 7 – болты; 8 – нижняя планка

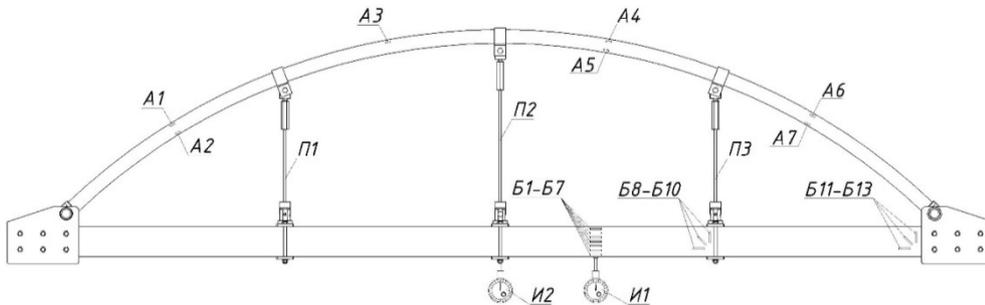


Рис. 6. Схема размещения измерительных приборов на конструкции: А1–А7 тензорезисторы на арке; П1–П3 – тензорезисторы на подвесках; Б1–Б7 – тензорезисторы на балке; Б8–Б13 – тензорезисторы на балке; И1, И2 – индикаторы часового типа для измерения вертикальных перемещений балки жесткости

При испытаниях краевые деформации определены с помощью датчиков сопротивления (тензорезисторов), вертикальные перемещения (прогибы) балки – индикаторов часового типа. Размещение тензодатчиков и индикаторов на конструкции показано на рис. 6.

Для испытаний на прочность и деформативность опытной комбинированной металлодеревянной арочной конструкции пролетом 3 м был спроектирован и изготовлен специальный стенд (рис. 7, 8), обеспечивающий моделирование для равномерного нагружения.

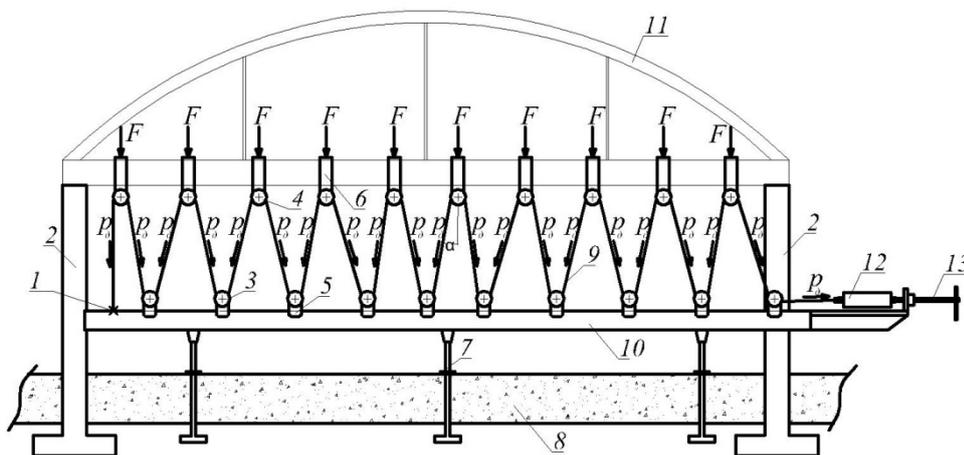


Рис. 7. Схема работы стенда для испытания арочной конструкции: 1 – крепежное кольцо; 2 – опоры; 3, 4 – шкивы; 5, 6 – хомуты; 7 – анкерные болты; 8 – силовой пол; 9 – трос; 10 – вспомогательная балка; 11 – арочная конструкция; 12 – динамометр; 13 – винтовое устройство

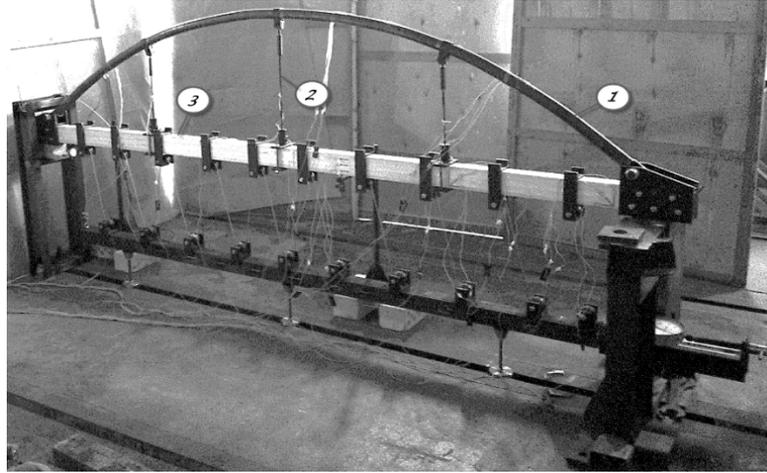


Рис. 8. Общий вид стенда для испытаний с установленной арочной конструкцией: 1 – арка; 2 – подвески; 3 – балка

Работа испытательного стенда и нагружение арочной конструкции осуществлялось следующим образом (см. рис. 7): под арочной конструкцией (11), которая опирается на две штатные опоры (2) (одна из которых представляет собой подвижный шарнир) при помощи трех мощных анкерных болтов (7) на высоте около 300 мм от силового пола (8) закреплена жесткая балка (10), сваренная из двух швеллеров. К деревянной балке на равном расстоянии (около 300 мм) при помощи специальных хомутов (6) закреплены 10 шкивов (4) (шкивы посажены на подшипники качения). Точно такие же хомуты (5) с шкивами (3) приварены к вспомогательной металлической балке (10). Через блоки переброшен трос (9) диаметром 5 мм, один конец которого закреплен к вспомогательной балке (10) при помощи скобы и приваренного крепежного кольца (рыма) (1). Другой конец троса связан с винтовым устройством (13), позволяющим натягивать этот трос. Усилие натяжения p_d показывает динамометр (12), к которому с одной стороны прикреплен трос, а с другой – винтовое устройство.

Равнораспределенная нагрузка q связана с усилием p_d следующей формулой:

$$q = \frac{20p_d \cos \alpha}{l_{\text{балк}}},$$

где α – угол отклонения ветви троса от вертикали;

$l_{\text{балк}}$ – расчетная длина балки.

Чтобы реализовать расчетную равнораспределенную нагрузку $q = 13,50$ кН/м, нужно обеспечить натяжение троса (при помощи винта) и создать усилие, равное 2,16 кН.

Испытания состояли из нескольких этапов загрузки и разгрузки конструкции с шагом 1,25 кН/м (шаг на динамометре 0,20 кН). Показания снимались через 30 мин после каждого нагружения. Равнораспределенная нагрузка

была доведена до 18,78 кН/м (что соответствует показанию 3,20 кН на динамометре). Результаты испытаний (рис. 9) сравнивались с результатами расчета в программном комплексе, учитывающем физическую и геометрическую нелинейность.

Переход от краевых деформаций к напряжениям выполнен на основании результатов, полученных при стандартных испытаниях древесины и взяты из справочной литературы для стали.

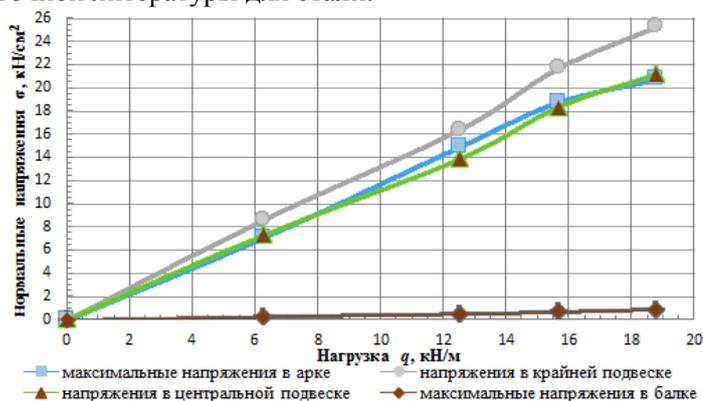


Рис. 9. Зависимость напряжений в элементах конструкции от нагрузки на нижнем поясе

Численный линейный (без учета нелинейности) расчет, выполненный в ПК LIRA 9.6, показал, что наибольшие напряжения в арке возникают на промежутке между опорой и крайней подвеской и достигают значений, близких к расчетному сопротивлению стали ($R_y = 24 \text{ кН/см}^2$) при нагрузке $q = 13,50 \text{ кН/м}$. В ходе испытаний установлено, что при расчетной нагрузке наибольшие напряжения в указанном промежутке арки меньше расчетных: $\sigma_{\text{арк}} = 17,00 \text{ кН/см}^2$ (рис. 10).

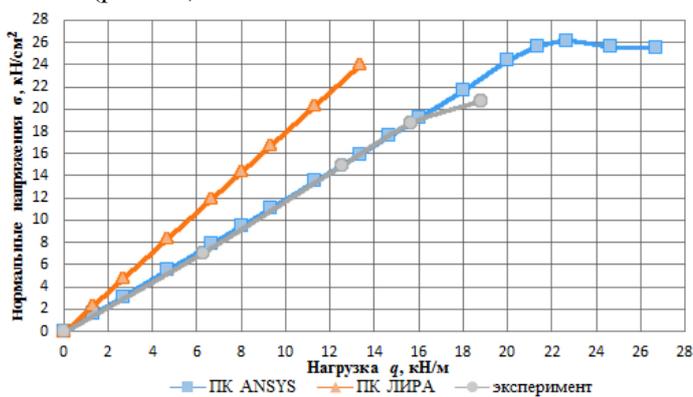


Рис. 10. Сравнение значений максимальных нормальных напряжений в арке с результатами расчетов в ПК

При расчете в ПК LIRA 9.6, напряжения в боковой (более нагруженной) подвеске достигают $24,00 \text{ кН/см}^2$ при расчетной нагрузке $13,50 \text{ кН/м}$, при расчете с учетом нелинейности и этой же нагрузке они составляют $19,50 \text{ кН/см}^2$, а при испытаниях – $17,70 \text{ кН/см}^2$ (рис. 11).

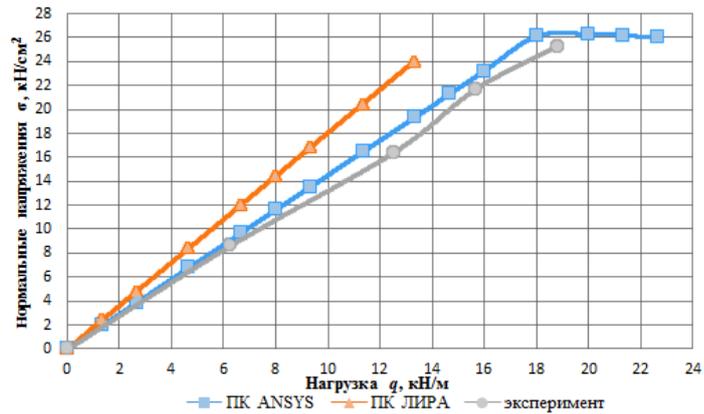


Рис. 11. Сравнение нормальных напряжений в боковых подвесках при испытаниях с результатами расчетов в ПК LIRA 9.6 и ANSYS

При расчете в ПК LIRA 9.6 напряжения в балке (затяжке) достигают $0,90 \text{ кН/см}^2$ при нагрузке $13,50 \text{ кН/м}$, при расчете с учетом нелинейности – $0,80 \text{ кН/см}^2$, а при испытаниях – $0,60 \text{ кН/см}^2$ (рис. 12).

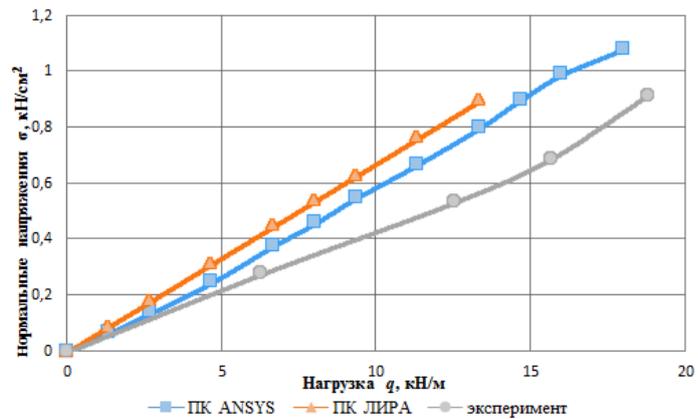


Рис. 12. Сравнение значений нормальных напряжений в балке (затяжке) при испытаниях с результатами расчетов в ПК LIRA 9.6 и ANSYS

Как видно из графиков максимальных вертикальных перемещений (прогибов) нижнего пояса (рис. 13), при нагружении и разгрузке ступенями и выдержки в течение 30 мин на каждой ступени зависимость «нагрузка–перемещения (прогибы)» в диапазоне расчетных нагрузок носит практически линейный характер и только в конце загрузки наблюдается нелинейность.

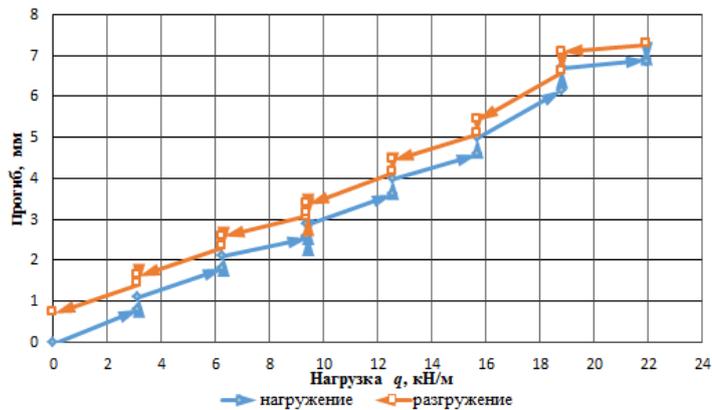


Рис. 13. Максимальные вертикальные перемещения (прогибы) нижнего пояса в конструкции при испытаниях ступенчатой нагрузкой на этапах «нагрузка–разгрузка»

Выводы

1. Наиболее напряженные участки конструкции по расчетам (как в линейной, так и в нелинейной постановке) и при испытаниях совпадают. Наибольшие напряжения возникают при полном загрузении нижнего пояса в крайней подвеске, в арке – на участке между боковой подвеской и опорой, в балке – на участке между центральной и боковой подвесками.

2. Несущая способность конструкции, определенная в ПК ANSYS, учитывающем нелинейность ($q = 18,50$ кН/м), практически совпадает с результатами испытаний ($q = 18,80$ кН/м). Расхождение составляет 2,0 %.

3. Напряжения в арке и боковой подвеске меньше напряжений, полученных при расчете (для арки наибольшее расхождение – 2,0 %, для боковой подвески – 4,5 %). Наибольшим оказалось расхождение напряжений в нижнем поясе (затяжке) – до 30,0 % ниже напряжений, полученных при расчете, что можно объяснить сложным (неоднородным и анизотропным) строением материала, из которого она изготовлена – древесины, а также некоторым упрочнением ее при склеивании.

4. При приближении нагрузки к предельной деформированное состояние конструкции перестает быть плоским, появляются перемещения элементов конструкции, перпендикулярные ее плоскости, что полностью согласуется с картиной пространственной деформации, которую дает расчетный комплекс.

5. Главным результатом проведенных испытаний конструкции, рационально и оптимально спроектированной при помощи ПК LIRA 9.6, является то, что действительная несущая способность этой конструкции, определенная во время испытаний ($q = 18,50$ кН/м), оказалась на 36 % выше расчетной ($q = 13,50$ кН/м).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Окунь И.В., Чучмай С.М., Приступлюк В.П. Эффективные клеодошчатые несущие конструкции надземных пешеходных переходов // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Вип. № 46. Одеса: Зовнішньорекламсервіс, 2012. С. 263 – 267.
2. Стоянов В. В., Бояджи А.А. Некоторые аспекты оптимального проектирования комбинированной арочной конструкции при наличии дополнительных конструктивных условий // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. 2014. №29. С. 362 – 368.

Поступила 03.07.2014

UDC 624.016

Experimental Study Of Strength And Deformability Of Combined Metalwooden Arch Structure

© V.V. Stoyanov, *Doctor of Engineering, Professor*
A.A. Boyadzhi, *Postgraduate Student*

Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Didrihsona, 4, Odessa, 65029, Ukraine; e-mail: MDiPK@yandex.ru

Problem of increasing road capacity in the big cities is becoming more acute due to their increasing workload. It can also be solved by using elevated pedestrian crossings. Department of metal, wood and plastic constructions Odessa State Academy of Construction and Architecture studies the elevated pedestrian crossings (12-24 m opening). The arch structure, in which the arch and suspension are metal and toke is wooden laminated beam was considered in this paper version. The purpose is to design the optimal structure (in terms of its carrying capacity and material savings) to do an experimental investigation of its stress-strain state and compare it with the calculated results. The opening, cross-section of laminated wooden beam and the number of suspensions were taken as input designing parameters of the test model. In a first approximation, the rated load considered as given by specifications. The rest of the design parameters - height and cross section of the arch, the location and the cross section of suspensions and ultimate bearing capacity were determined by numerical linear calculation by LIRA 9.6 based on the criterion of optimality (the best is that variant for which at rated load and minimum cross section sizes, the stresses of structural elements (arch, beam and suspensions) are close to permitted). The geometric and strength parameters of the structure varied when calculating. For each of the combinations of variable parameters defined maximum stresses in each of the structural elements (arch, beam, suspension) and load factor. For each cross-section of the arch and suspensions stood the variant of the construction with the geometrical parameters, in which the bearing capacity has the greatest ability. The special stand for tests was designed and manufactured. It provides modeling equipartition loading of construction. The tests revealed that the bearing capacity of an arch structure, designed in accordance with the criteria of optimality 36% higher than calculated in the LIRA and 2% higher than obtained in the calculation in the software package that takes into account geometrical and physical nonlinearity. Studies have

shown that the process of designing adopted and the optimality criterion proposed can be used in the practice of designing such structures.

Keywords: arch structures of metal and wood, strength, deformability

REFERENCES

1. Okun I.V., Chuchmaj S.M., Pristupljuk V.P. Jeffektivnye kleedoshhatye nesushhie konstrukcii nadzemnyh peshehodnyh perehodov.[Effective glued board bearing structures of elevated pedestrian crossings]. Bulletin of the Odessa State Academy of Construction and Architecture, ser. № 46, Odessa: Zovnishn'oreklamservis, 2012, pp. 263 – 267.

2. Stoyanov V.V., Boyadzhi A.A. Nekotoryie aspektyi optimalnogo proektirovaniya kombinirovannoy archnoy konstruksii pri nalichii dopolnitelnyih konstruktivnyih usloviy [Some aspects of optimal projection of arch combined constructions with additional constructives conditions]. Resources saving materials, constructions and buildings, 2014, No.29. pp. 362 – 368.

Received on 03.07.2014



ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 661.183.2

ПОЛУЧЕНИЕ МИКРОПОРИСТЫХ УГЛЕРОДНЫХ АДСОРБЕНТОВ МЕТОДОМ ТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ ХВОЙНЫХ ОПИЛОК С ПРЕДОБРАБОТКОЙ ОРТОФОСФОРНОЙ КИСЛОТОЙ НА СТАДИИ ПРЕДПИРОЛИЗА

А.И. Бубнова, асп.

Н.И. Богданович, д-р техн. наук, проф.

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,
наб. Северной Двины 17, г. Архангельск, Россия, 163002;
e-mail: a.bubnova@narfu.ru, тел.: (8182) 21–61–76

Сегодня практически вся планета, особенно районы массового проживания людей, подвержены серьезным экологическим угрозам. В силу своих физикохимических свойств активные угли являются уникальными и идеальными сорбционными материалами, которые позволяют решать большой круг вопросов обеспечения химической и биологической безопасности человека, окружающей среды и инфраструктуры. Огромный ассортимент адсорбентов можно получить на основе крупнотоннажных отходов химической и механической переработки древесины. Целью нашей работы было проведение экспериментальных исследований по разработке технологии пиролиза хвойных опилок в режиме химической активации гидроксидом натрия для получения углеродных адсорбентов. Необходимо было организовать процесс пиролиза таким образом, чтобы он органично вписывался в структуру существующих предприятий, и получить при этом адсорбенты с минимальными затратами и широким спектром применения. Были реализованы две серии опытов: первая проведена с использованием 2 %-й ортофосфорной кислоты на стадии подготовки к термохимической активации, вторая – без использования ортофосфорной кислоты. Полученный уголь отмывали до нейтральных значений pH, высушивали, измельчали и анализировали. Для оценки адсорбционных свойств адсорбентов использовали общепринятые адсорбтивы: иод, метиленовый голубой, гексан. Указанные вещества широко применяются при тестировании активных углей. В результате исследования осуществлен подбор оптимальных режимных параметров для получения адсорбентов с достаточно высокими показателями адсорбции по иоду и осветляющей способностью по метиленовому голубому, значения которых существенно превышают показатели промышленно выпускаемых активных углей. Экспериментально установлено, что активные угли с максимальной поглощающей способностью возможно получить, соблюдая следующие режимные параметры: температура предпиролиза – 350 °С, температура термохимической активации – 650 °С, дозировка щелочи – 150 %. Широкое применение активного угля продиктовано доступностью сырья для его производства, невысокой стоимостью, универсальностью, возможностью многократной регенерации.

Ключевые слова: адсорбент, уголь активный, активация термохимическая, пиролиз, свойства адсорбционные.

В силу своих физикохимических свойств углеродные адсорбенты (активные угли, далее АУ) являются уникальными и идеальными сорбционными материалами, которые позволяют решать большой круг вопросов обеспечения химической и биологической безопасности человека, окружающей среды и инфраструктуры [7].

С развитием промышленного производства АУ в начале нашего столетия применение этого продукта неуклонно возрастает. Успешному развитию современной адсорбционной техники в значительной степени способствует постоянное повышение качества этого продукта, обусловленное усовершенствованием способов его производства [5].

В пористой структуре активного угля (объеме микропор и мезопор) осуществляется поглощение любых типов органических микропримесей за счет адсорбционных сил (сил поверхностного взаимодействия). Именно в объеме микропор происходит основное поглощение примесей из очищаемых сред с помощью ван-дер-ваальсовых сил неспецифического взаимодействия, т.е. углеродные адсорбенты – это классические наноматериалы. Формирование наноструктуры сорбирующих пор осуществляется в технологическом процессе получения активных углей за счет использования определенного исходного сырья и заданных режимов его термообработки (сушка, карбонизация, активация).

При производстве активного угля вначале исходный материал подвергают термической обработке без доступа воздуха, в результате которой из него удаляются летучие (влаги и частично смолы). Структура образовавшегося угля сырца – крупнопористая, и он не может непосредственно быть использован как промышленный адсорбент. Задача получения ажурной микропористой структуры решается в процессе активации. Кроме того, при химическом активировании существенно снижается время активации сырья, увеличивается выход и улучшаются адсорбционные свойства АУ. Активный уголь, полученный методом химической активации, отличается большей однородностью структуры партии в целом, чем структура партии угля парогазовой активации [4].

При получении свойства АУ можно также регулировать выбором соответствующего сырья, метода активирования, изменением продолжительности и условий активирования. В процессе химического активирования исходного материала получают уголь с высокой активностью и относительно широкими микропорами [1, 3].

В ходе экспериментальных исследований нами были реализованы две серии опытов с использованием опилок древесины ели в качестве сырьевого материала для синтеза АУ с техническими характеристиками: фракция 1...5 мм, кора отсутствует, дополнительный помол и рассеивание не требуется. Известно, что обработка исходного сырья щелочью при высоких температурах не приводит к образованию угольной структуры, опилки полностью растворяются, выход угля примерно 1 %. Поэтому в первой серии (ОХТ) опытов исход-

ное сырье подвергали предпиролизу. На этой стадии в целях увеличения выхода использовали 2 %-ю ортофосфорную кислоту. Из литературных данных известно [2], что обработка ортофосфорной кислотой способствует формированию ароматической структуры за счет снижения выхода жидких продуктов. При термохимической активации в качестве активирующего агента использовали гидроксид натрия с различной дозировкой к абсолютно сухому сырью (далее к а.с.с). Для сравнения была реализована вторая серия (серия ПХ) опытов без использования ортофосфорной кислоты.

Нами были изучены основные сорбционные свойства двух серий активных углей. Исследования проводили методом планированного эксперимента. Был выбран центральный композиционный ротатбельный униформ-план второго порядка для трех факторов, в качестве независимых переменных – температура предпиролиза ($T_{\text{предпир}}$), температура пиролиза ($T_{\text{пир}}$), т. е температура термохимической активации; дозировка NaOH. Значения и интервалы варьирования факторов представлены в таблице.

Уровни и интервалы варьирования факторов

Переменные факторы	Характеристики плана					
	Шаг варьирования λ	Уровни факторов				
		-1,682 (- α)	-1	0	1	1,682 (+ α)
Температура, °С:						
предпиролиза (X_1)	60	300	340	400	460	500
пиролиза (X_2)	60	550	590	650	710	750
Дозировка NaOH (X_3), %	30	100	120	150	180	200

Доступность поверхности адсорбентов для поглощающих газов и паров играет важную роль при выборе твердого тела в качестве адсорбента при решении той или иной адсорбционной задачи. Чем больше площадь удельной поверхности, доступная для молекул поглощаемого вещества, тем выше степень очистки веществ или рекуперации различного рода паров веществ из газовой фазы. Площадь поверхности отнюдь не единственное физическое свойство, определяющее адсорбцию и степень очистки веществ. Такое же значение имеет и пористость, которую следует рассматривать как самостоятельный фактор, хотя она принимает участие в образовании всей поверхности. Это связано с тем, что при определенном способе получения адсорбента распределение в нем пор по размерам может оказаться таким, что часть его поверхности будет совершенно не доступна для больших молекул вещества, а скорость диффузии молекул внутрь пор адсорбента сильно замедлится [6].

Поскольку размер пор синтезируемых нами адсорбентов из древесных опилок вполне может быть соизмерим с размерами молекул метиленового голубого (МГ) и иода (I_2), их можно использовать в качестве своеобразных молекулярных сит при оценке селективности адсорбции и особенностей пористой структуры [2]. По согласованию с потребителем, адсорбционную актив-

ность угля оценивают по одному из показателей, характеризующих осветляющую способность АУ.

Осветляющая способность по МГ характеризует способность активных углей сорбировать из водных растворов крупные молекулы органических веществ. Принято считать, что подобные молекулы сорбируются на поверхности пор (мезопор), т. е. по результатам анализа можно получить информацию об их содержании в исследуемых углях.

Адсорбционная активность по I_2 характеризует развитие микропористой структуры угля. В зависимости от полученных результатов делается вывод о пригодности угля для извлечения I_2 из водных растворов, а также о возможности использования его для очистки сточных и природных вод от многих классов органических и неорганических загрязнений.

Выходными параметрами были выбраны: выход АУ, его насыпная плотность, удельная поверхность по I_2 , осветляющая способность по МГ, сорбция по I_2 из жидкой фазы и по гексану (Г) из газовой фазы.

Полученные экспериментальные данные были использованы для расчета коэффициентов уравнений регрессии и разработки статистических моделей, связывающих выходные параметры с условиями их получения. В общем виде искомая по плану второго порядка математическая (статистическая) модель достаточно надежно аппроксимируется уравнением

$$y_1 = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + b_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + b_{11} \cdot x_1^2 + b_{22} \cdot x_2^2 + b_{33} \cdot x_3^2.$$

Сравнение абсолютных значений коэффициентов уравнений регрессии свидетельствует о том, что режимные параметры в разной степени влияют как на выход, так и на свойства получаемых углей. Как следует из расчетных значений критерия Фишера, все уравнения адекватны экспериментальным данным, т. е. их можно считать математическими моделями процесса термохимической активации.

Уравнения регрессии со значимыми коэффициентами для серии ОХТ:

$$y_1 = 23,47 + 1,08 \cdot x_1 - 3,09 \cdot x_2 + 0,72 \cdot x_1 \cdot x_2 - 2,55 \cdot x_2 \cdot x_3;$$

$$F_{\text{расч}} = 0,89 / F_{\text{табл}} = 4,74;$$

$$y_2 = 505,15 + 29,05 \cdot x_2 + 106,69 \cdot x_3 + 41,44 \cdot x_2 \cdot x_3 - 38,23 \cdot x_2^2 + 67,31 \cdot x_3^2;$$

$$F_{\text{расч}} = 0,48 / F_{\text{табл}} = 4,82;$$

$$y_3 = 182,96 + 28,93 \cdot x_2 + 19,87 \cdot x_1 \cdot x_2 + 23,09 \cdot x_1 \cdot x_3 - 9,08 \cdot x_1^2 - 15,91 \cdot x_2^2;$$

$$F_{\text{расч}} = 1,98 / F_{\text{табл}} = 4,82;$$

$$y_4 = 0,11 - 0,04 \cdot x_2 - 0,03 \cdot x_3 + 0,01 \cdot x_2^2; F_{\text{расч}} = 0,47 / F_{\text{табл}} = 4,74;$$

$$y_5 = 725,00 + 208,10 \cdot x_2 + 114,30 \cdot x_3 + 167,40 \cdot x_1 \cdot x_2 - 50,50 \cdot x_1 \cdot x_3 - 27,10 \cdot x_1^2;$$

$$F_{\text{расч}} = 0,45 / F_{\text{табл}} = 4,82;$$

$$y_6 = 1651,43 + 90,86 \cdot x_1 + 222,53 \cdot x_2 + 141,88 \cdot x_1 \cdot x_2 - 233,13 \cdot x_1 \cdot x_3 - 213,83 \cdot x_1^2 + 95,36 \cdot x_2^2 + 71,74 \cdot x_3^2; F_{\text{расч}} = 1,03 / F_{\text{табл}} = 4,95.$$

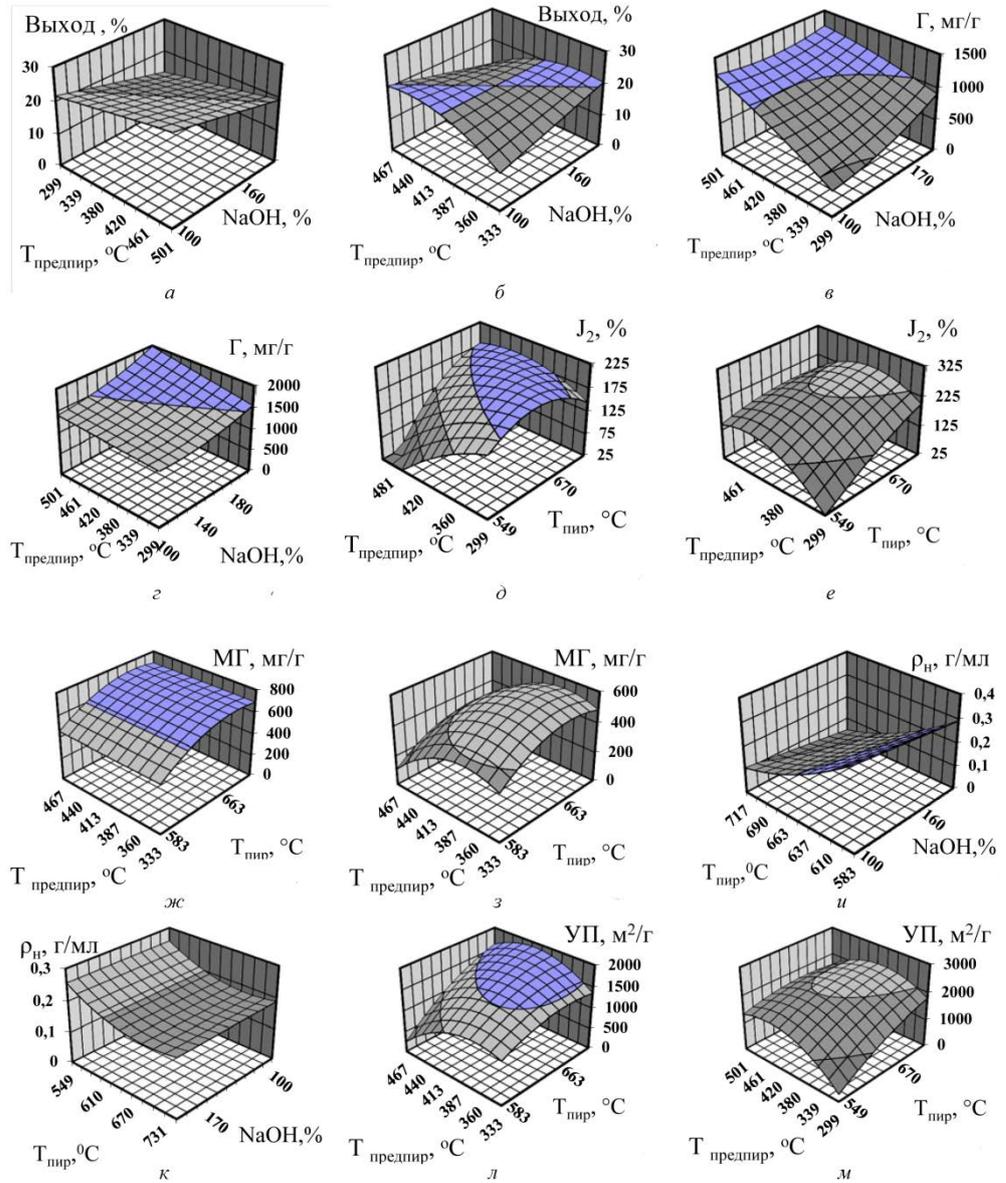


Рис. 1. Поверхности отклика, демонстрирующие влияние режимных параметров на выходные характеристики АУ: *a, б* – выход, %; *в, г* – сорбция по Γ , мг/г; *д, е* – адсорбционная активность по I_2 , %; *ж, з* – осветляющая способность по МГ; *и, к* – насыпная плотность ρ_n , г/мл; *л, м* – удельная поверхность (УП), м²/г (*a, в, д, ж, и, л* – серия ОХТ; *б, г, е, з, к, м* – серия ПХ; *a-г* – температура пиролиза 650 °С; *д-з, л, м* – дозировка NaOH 150 %; *и, к* – температура предпиролиза 400 °С)

Уравнения регрессии со значимыми коэффициентами для серии ПХ:

$$y_1 = 23,40 - 4,00 \cdot x_2 - 1,60 \cdot x_1 \cdot x_3 - 1,40 \cdot x_1^2 + 0,60 \cdot x_2^2; F_{\text{расч}} = 2,16 / F_{\text{табл}} = 4,74;$$

$$y_2 = 537,14 + 48,90 \cdot x_2 - 63,67 \cdot x_1 \cdot x_3 - 49,07 \cdot x_1^2 + 36,51 \cdot x_2^2;$$

$$F_{\text{расч}} = 2,83 / F_{\text{табл}} = 4,74;$$

$$y_3 = 184,06 + 14,46 \cdot x_1 + 6,37 \cdot x_2 + 20,50 \cdot x_3 - 12,80 \cdot x_1 \cdot x_2 + 25,27 \cdot x_2 \cdot x_3 -$$

$$- 24,08 \cdot x_1^2 - 6,17 \cdot x_2^2 + 16,17 \cdot x_3^2; F_{\text{расч}} = 1,28 / F_{\text{табл}} = 5,05;$$

$$y_4 = 0,20 - 0,01 \cdot x_1 - 0,04 \cdot x_2 - 0,02 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,01 b_{22} \cdot x_2^2; F_{\text{расч}} = 1,72 / F_{\text{табл}} = 4,74;$$

$$y_5 = 1457,66 + 49,57 \cdot x_1 + 35,10 \cdot x_2 + 77,68 \cdot x_3 + 31,42 \cdot x_1 \cdot x_2 + 28,15 \cdot x_1 \cdot x_3 +$$

$$+ 48,11 \cdot x_2 \cdot x_3 + 38,74 \cdot x_2^2 + 35,46 \cdot x_3^2; F_{\text{расч}} = 1,13 / F_{\text{табл}} = 5,05;$$

$$y_6 = 1763,08 + 122,84 \cdot x_1 + 50,74 \cdot x_2 + 171,53 \cdot x_3 - 108,75 \cdot x_1 \cdot x_2 - 213,75 \cdot x_2 \cdot x_3 -$$

$$- 222,16 \cdot x_1^2 + 68,33 \cdot x_2^2 + 122,64 \cdot x_3^2; F_{\text{расч}} = 2,06 / F_{\text{табл}} = 5,05.$$

Здесь y_1 – выход к а.с.с, %; y_2 – осветляющая способность по МГ, мг/г; y_3 – сорбционная активность по I_2 , %; y_4 – насыпная плотность, г/мл; y_5 – сорбционная активность по Г, мг/г; y_6 – удельная поверхность, м²/г.

По полученным уравнениям регрессии, которые являются математическими моделями процесса, были построены поверхности отклика (см. рисунок), наглядно демонстрирующие влияние режимных параметров на выходные характеристики.

Выводы

1. Предобработка исходного сырья на стадии предпиролиза 2 %-й ортофосфорной кислотой незначительно повышает выход активного угля, однако сорбционная активность по общепринятым адсорбатам при этом снижается.

2. Влияние основных технологических параметров (температура предпиролиза и термохимической активации, дозировка щелочи) на выход и сорбционные свойства активных углей одинаково для всех образцов из обеих серий.

3. Поглощающая способность и, следовательно, удельная поверхность достигает максимального значения в интервале температур пиролиза 650...690 °С. При этом насыпная плотность и выход активного угля минимальны.

4. Режимными параметрами: предобработка исходного сырья 2 %-й фосфорной кислотой не требуется, температура предпиролиза – 350 °С, температура пиролиза – 690 °С, дозировка щелочи – 150 %.

5. Сорбционные свойства, полученных активных углей в 2,5–3,0 раза выше показателей порошкообразных углей подобного класса, промышленно выпускаемых в России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Богданович Н.И., Черноусов Ю.И.* Сорбенты для очистки сточных вод ЦБП на основе древесных отходов переработки древесины // Целлюлоза, бумага, картон: обзор. информ. М.: ВНИПИЭИлеспром, 1989. Вып. 5. 41 с.
2. ГОСТ 4453–93. Уголь активный осветляющий древесный порошкообразный. М.: Изд-во стандартов, 1993. 21 с.
3. *Калиничева О.А., Богданович Н.И., Добеле Г.В.* Предпиролиз древесного сырья в синтезе активных углей с гидроксидом натрия // Лесн. журн. 2008. № 2. С. 117 – 122. (Изв. высш. учеб. заведений).
4. *Кельцев Н.В.* Основы адсорбционной техники. М.: Химия, 1976. 135 с.
5. *Кинле Х., Бадер Э.* Активные угли и их промышленное применение/ пер. с нем. Л.: Химия, 1984. 215 с.
6. *Комаров В.С., Ратько А.И.* Адсорбенты: получение, структура, свойства. Минск: Беларус. наука, 2009. 238 с.
7. *Мухин В.М., Тарасов А.В., Клушин В.Н.* Активные угли России. М.: Металлургия, 2000. 352 с.

Поступила 18.12.2014

UDC 661.183.2

Production of Microporous Carbon Adsorbents by Thermochemical Activation of Coniferous Sawdust with Orthophosphoric Acid Pre-Processing at the Prepyrolysis Stage

A.I. Bubnova, Postgraduate Student

N.I. Bogdanovich, Doctor of Engineering, Professor

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

Today, virtually the entire planet and, especially, areas of mass human habitation is the subject to the serious environmental threats. Because of physical and chemical properties active carbons are unique and ideal sorption materials for chemical and biological human security, environment and infrastructure. The huge range of adsorbents can be obtained on the basis of large capacity waste of chemical and mechanical processing of wood. The purpose of the work was to carry out the experimental studies on the development of pyrolysis technology of coniferous sawdust in a mode of chemical activation by sodium hydroxide for carbon adsorbents production. The object was to establish a process of pyrolysis, to fit it into the structure of existing enterprises and get adsorbents with minimal expenses and with a wide range of application. Two series of experiments were realized. The first series was carried out with the use of 2 % orthophosphoric acid at a stage of preparation for thermochemical activation (OXM series). The second series of the experiments was implemented without the use of orthophosphoric acid (HRP series). The received coal was washed, dried up, pulverized and analyzed. To evaluate the adsorptive properties of the adsorbents the standard adsorbates were used: iodine, methylene blue and hexane. These substances are widely used in the active carbon testing. As a result of the research the selection of the optimal regime parameters for adsorbents with rather high rate of iodine adsorption and methylene blue clarifying ability, which values significantly exceed the indicators of industrially available acti-

vated carbon, was carried out. Experimentally it has been found that the activated carbon with a maximum absorbing capacity can be obtained at the following operating parameters: prepyrolysis temperature – 350 °C, thermochemical activation temperature – 650 °C, an alkali dosage – 150 %. The widespread use of activated carbon is dictated by availability of raw materials for its production, low cost, flexibility, and the ability to repeated regeneration.

Keywords: adsorbent, active carbon, thermochemical activation, pyrolysis, adsorptive properties.

REFERENCES

1. Bogdanovich N.I., Chernousov Yu.I. Sorbenty dlya ochistki stochnykh vod TsBP na osnove drevesnykh otkhodov pererabotki drevesiny [Sorbents for Wastewater Treatment of Pulp-and-Paper Industry on the Basis of Wood Waste of Wood Processing]. *Pulp. Paper. Board*, 1989, no. 5, 41 p.
2. GOST 4453-93. Ugol' aktivnyy osvetlyayushchiy drevesnyy poroshkoobraznyy [Coal Clarifying Active Powdered]. Moscow, 1993. 21 p.
3. Kalinicheva O.A., Bogdanovich N.I., Dobelev G.V. Predpiroliz drevesnogo syr'ya v sinteze aktivnykh ugley s gidroksidom natriya [Prepyrolysis of Wood Raw Materials in the Synthesis of Active Carbons with Sodium Hydroxide]. *Lesnoy zhurnal*, 2008, no. 2, pp. 117 – 122.
4. Kel'tsev N.V. *Osnovy adsorbtsionnoy tekhniki* [Fundamentals of Adsorptive Technology]. Moscow, 1976. 135 p.
5. Kinle Kh., Bader E. *Aktivnye ugli i ikh promyshlennoe primeneniye* [Active Carbons and Their Industrial Application]. Leningrad, 1984. 215 p.
6. Komarov V.S., Rat'ko A.I. *Adsorbenty: poluchenie, struktura, svoystva* [Adsorbents: Preparation, Structure, Properties]. Minsk, 2009. 238 p.
7. Mukhin V.M., Tarasov A.V., Klushin V.N. *Aktivnye ugli Rossii* [Active Carbons of Russia]. Moscow, 2000. 352 p.

Received on December 18, 2014

УДК 676.024.61

**ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА РАЗМОЛА
ВОЛОКНИСТОЙ СУСПЕНЗИИ В УСЛОВИЯХ ЕЕ НАПОЛНЕНИЯ
СИНТЕТИЧЕСКИМИ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫМИ СОЕДИНЕНИЯМИ
В СЛАБОЩЕЛОЧНОЙ СРЕДЕ**

© *Т.О. Щербакова, асп.*

Н.В. Черная, д-р техн. наук, проф.

Белорусский государственный технологический университет, ул. Свердлова, 13а,
г. Минск, Республика Беларусь, 220006; e-mail: t_scherbakova@mail.ru

Размол волокнистых полуфабрикатов в целлюлозно-бумажной промышленности является одним из наиболее важных и энергоемких технологических процессов. Условия процесса размола определяют основные физико-механические показатели качества бумажной продукции. Целью работы являлось изучение особенностей процесса размола волокнистой суспензии, наполненной в слабощелочной среде высокодисперсными соединениями $BaSO_4$, $BaSO_3$, $CaSO_3$ и $CaSO_4$. Их получали в волокнистой суспензии путем последовательного введения 10 %-х суспензий первого компонента ($Ba(OH)_2$ или $Ca(OH)_2$), а затем соответствующих 10 %-х растворов второго компонента (Na_2SO_4 , Na_2SO_3 или Na_2CO_3), которые, равномерно распределяясь в межволоконном пространстве и проникая в люмены волокон, образуют высокодисперсные соединения. Они и позволяют сместить традиционный режим наполнения в режиме гомотоагуляции в более эффективный процесс гетероадагуляции при одновременном протекании процесса пенитрации. Кроме того, предлагаемые нами условия наполнения бумажной массы синтетическими высокодисперсными соединениями в слабощелочной среде способствуют не только получению однородных высокодисперсных частиц дисперсной фазы наполняющего вещества, но и увеличению от 60 до 99 % степени удержания наполнителя в структуре бумаги, сокращению времени фибриллирования и максимальному сохранению средней длины волокна (0,811 мм). Следствием этого являются улучшение показателей качества бумаги и снижение традиционных безвозвратных потерь наполнителя с регистровой водой на стадии формирования структуры бумаги на сеточном столе бумагоделательной машины. На основании полученных результатов исследований определены такие параметры процесса размола, при которых физико-механические показатели качества бумаги являются наилучшими при одновременном сокращении на 7...10 % затрат электроэнергии на размол.

Ключевые слова: высокодисперсные соединения, слабощелочная среда, размол, степень помола, продолжительность размола, средневзвешенная длина волокна, бумага, степень удержания наполнителя, разрывная длина, белизна.

В композиции бумаги широко применяют разнообразные природные наполнители (мел $CaCO_3$, бланфикс $BaSO_4$, гипс $CaSO_4$ и др.). Их использование позволяет не только заменить часть дорогостоящих первичных (целлюлозных) волокон, но и придать бумаге высокие печатные свойства. Традиционно суспензию природного наполнителя вводят в волокнистую суспензию,

приготовление которой основано на последовательном осуществлении стадий роспуска (процесс диспергирования) и размола (процесс внешнего и внутреннего фибриллирования). Качество бумаги во многом зависит от бумагообразующих свойств подготовленной волокнистой суспензии (дисперсной системы) и технологии применения традиционных наполнителей. Поскольку частицы дисперсной фазы природных наполнителей являются неоднородными и крупнодисперсными, то они не способны равномерно распределяться и прочно фиксироваться на поверхности волокон [5, 6]. Это приводит к протеканию процесса наполнения, как правило, в режиме гомокоагуляции, поэтому степень удержания наполнителя является невысокой и обычно не превышает 60 %. Этот факт способствует увеличению безвозвратных потерь частиц наполнителя со сточными водами (40 % и более), что нежелательно. Для комплексного решения этих проблем целесообразно, во-первых, заменить неоднородный и крупнодисперсный природный наполнитель на однородный и высокодисперсный синтетический, который, по нашему мнению, можно получать непосредственно в целлюлозной массе, последовательно вводя в нее суспензию (раствор) первого (гидроксида бария $Ba(OH)_2$ или кальция $Ca(OH)_2$) и второго (сульфат Na_2SO_4 , сульфит Na_2SO_3 или карбонат натрия Na_2CO_3) компонентов. В результате их взаимодействия образуется новое высокодисперсное соединение (сульфаты и сульфиты бария и кальция $BaSO_4$, $BaSO_3$, $CaSO_3$ и $CaSO_4$) и гидроксид натрия, создающий слабощелочную среду, которая, как известно [5], интенсифицирует процесс размола за счет ускорения набухания волокон. Поэтому выявление зависимости влияния новых синтетических высокодисперсных соединений, полученных непосредственно в целлюлозной массе, на процесс размола в созданной слабощелочной среде представляет научный и практический интерес.

Цель работы – изучение бумагообразующих свойств волокнистой суспензии в условиях образования высокодисперсных соединений в созданной слабощелочной среде.

Работа выполнялась в четыре этапа: на первом этапе получали высокодисперсные соединения ($BaSO_4$, $BaSO_3$, $CaSO_3$ и $CaSO_4$) и определяли их физико-химические свойства; на втором этапе вводили 10 %-е суспензии первого компонента ($Ba(OH)_2$ или $Ca(OH)_2$) для равномерного распределения его молекул в межволоконном пространстве и проникновения в люмены волокон; на третьем этапе в 1 %-ю распущенную волокнистую суспензию вводили 10 %-й раствор второго компонента (Na_2SO_4 , Na_2SO_3 или Na_2CO_3) и проводили фибриллирование волокон (стадия размола); при этом протекали химические реакции между двумя введенными компонентами с образованием высокодисперсных соединений; на четвертом этапе изготавливали образцы бумаги, у которых определяли оптические и физико-механические показатели качества, оценивали эффективность процесса наполнения синтетическими высокодисперсными соединениями.

Методы исследования

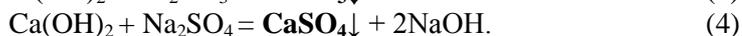
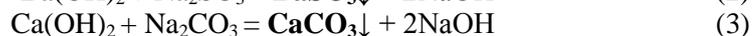
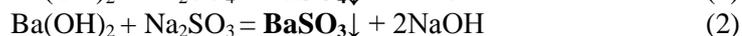
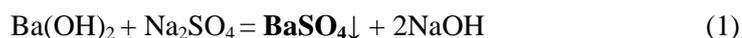
Объектами исследования являлись бумажные массы, содержащие целлюлозные волокна; первый ($\text{Ba}(\text{OH})_2$ или $\text{Ca}(\text{OH})_2$) и второй (Na_2SO_4 , Na_2SO_3 или Na_2CO_3) компоненты, взаимодействующие между собой с образованием высокодисперсных соединений (BaSO_4 , BaSO_3 , CaSO_3 и CaSO_4); наполненные в слабощелочной среде бумажные массы и изготовленные из них образцы бумаги.

В качестве волокнистого сырья использовали целлюлозу сульфатную беленую из лиственных пород древесины (ГОСТ 28172–89). Для получения синтетических высокодисперсных соединений применяли $\text{Ba}(\text{OH})_2$ (ГОСТ 4107–78) и $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (ГОСТ 9262–77), Na_2SO_4 (ГОСТ 21458–75), Na_2SO_3 (ГОСТ 5644–75) и Na_2CO_3 (ГОСТ 2156–76).

На первом этапе получали высокодисперсные соединения (BaSO_4 , BaSO_3 , CaSO_3 и CaSO_4) по стехиометрическим соотношениям компонентов и определяли показатели физико-химических свойств.

На втором этапе проводили роспуск волокнистого сырья в дезинтеграторе БМ-3 в соответствии с прилагаемой инструкцией (стадия диспергирования) при одновременном введении 10 %-х суспензий первого компонента ($\text{Ba}(\text{OH})_2$ или $\text{Ca}(\text{OH})_2$) в количестве, обеспечивающем получение в дальнейшем целевых продуктов – высокодисперсных соединений (BaSO_4 , BaSO_3 , CaSO_3 и CaSO_4) с расходом 10 % от а. с. в.

На третьем этапе в такую волокнистую суспензию сначала добавляли 10 %-е растворы второго компонента (Na_2SO_3 , Na_2SO_4 или Na_2CO_3), а затем продолжали осуществлять фибриллирование волокон (стадия размола) в лабораторном ролле согласно прилагаемой инструкции. Последовательное введение двух компонентов способствовало образованию частиц высокодисперсных соединений по следующим реакциям (жирным шрифтом выделены высокодисперсные соединения):



Процесс размола контролировали путем определения по стандартным методикам степени помола на аппарате Шоппер–Риглера СР-2 через каждые 3 мин (на протяжении 51 мин) и средневзвешенной длины волокна на аппарате Иванова.

На четвертом этапе изготавливали образцы бумаги массой 2,51 г (поверхностная плотность 80 г/м²) на листоотливном аппарате «Rapid-Ketten» (фирма «Ernst Naage», Германия). Белизну образцов определяли на спектрофотометре «Колир» (Украина) по СИЕД 65/10, разрывную длину – на горизонтальной разрывной машине «Tensiletester» (фирма «Lorentzen and Wetten», Швеция) по ISO 1924-2.

Результаты исследования и их обсуждение

Свойства высокодисперсных соединений (образцы 1 – 4), образовавшиеся в результате протекания реакций (1) – (4), представлены в табл. 1.

Таблица 1

Свойства полученных высокодисперсных соединений

Номер образца соединения	рН 10 %-й суспензии	Средний размер частиц, мкм	Практический выход соединения, %
1	11,45	0,52...0,60	77,20
2	11,50	1,05...1,27	80,61
3	13,60	1,83...2,25	82,62
4	12,32	0,52...0,60	89,68

Как видно из табл. 1, полученные на первом этапе работы высокодисперсные соединения (без волокнистой суспензии) являются достаточно однородными и высокодисперсными (их размер находится в диапазоне 0,52...2,25 мкм), что способствует, по нашему мнению, смещению процесса наполнения из традиционного режима гомотоагуляции, в котором неоднородные и крупнодисперсные частицы наполнителя не способны равномерно распределяться и прочно фиксироваться на поверхности волокон, в более эффективный режим гетероадагуляции, при котором обеспечивается равномерное распределение частиц используемых высокодисперсных соединений не только на поверхности волокон, но и в их люменах. Это, вероятно, способствует увеличению степени удержания наполняющего вещества в структуре бумаги, а также сокращению безвозвратных потерь компонентов наполненной бумажной массы.

Из приготовленных композиционных составов наполненных бумажных масс (1–4), содержащих волокна целлюлозы сульфатной беленой из листовых пород древесины и частицы высокодисперсных соединений (образцы 1–4, полученные по реакциям (1)–(4)) в количестве 10 % от а. с. в., изготавливали образцы бумаги и определяли их основные показатели качества. Для сравнения использовали исходную волокнистую суспензию (ИВС).

На рис. 1 представлены значения рН суспензий высокодисперсных соединений (образцы 1–4), наполненных бумажных масс (образцы 1–4) и ИВС.

При получении высокодисперсных соединений по реакциям (1) – (4) образуется гидроксид натрия, что и создает слабощелочную среду в дисперсной системе. Слабощелочная среда (рН 8,70...10,14) может вызвать интенсификацию процесса пенообразования в подсеточной воде бумагоделательной машины (БДМ). Для устранения этого производственного недостатка

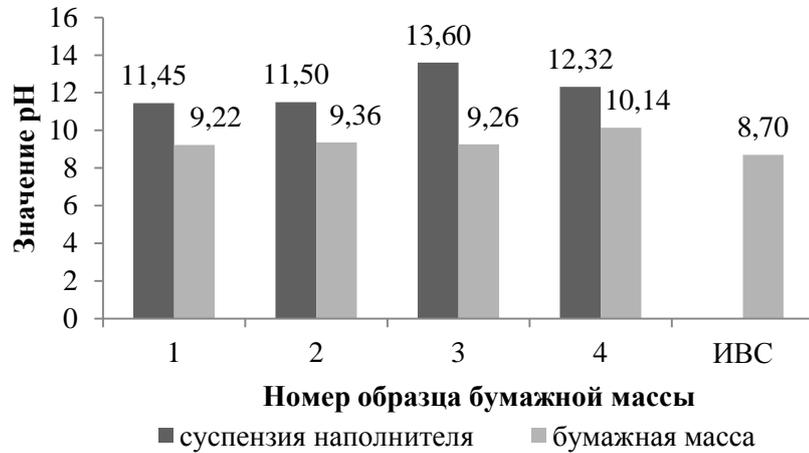


Рис. 1. Изменение pH суспензий высокодисперсных соединений (образцы 1–4), наполненных бумажных масс (образцы 1–4) и ИВС

целесообразно снижать pH бумажной массы перед ее обезвоживанием на сеточном столе БДМ от 8,70...10,14 до 6,80...7,00 путем введения в смесительный насос электролита, например 10 %-го раствора сульфата алюминия $Al_2(SO_4)_3$, или технического глинозема, имеющего pH 2,70 и содержащего определенное количество (R_i , %) положительно заряженных форм гидроксо соединений алюминия: $Al(H_2O)_6^{3+}$ ($R_1 = 95\%$) и $Al(H_2O)_5(OH)^{2+}$ ($R_2 = 5\%$) [2, 4]. Известно, что способность соединений трехвалентного алюминия подвергаться гидролизу в зависимости от pH дисперсионной среды (табл. 2) позволяет получать в дисперсных системах, к числу которых относятся наполненные волокнистые суспензии, другие формы гидроксо соединений алюминия: $Al(H_2O)_3(OH)_3$ и $Al(H_2O)_2(OH)_4^-$.

По данным авторов [2, 4], при pH 6,80...7,00 в наполненной волокнистой суспензии присутствуют гидроксо соединения алюминия в следующих формах: $Al(H_2O)_4(OH)_2^+$ ($R_3 = 20\%$) и $Al(H_2O)_3(OH)_3$ ($R_4 = 80\%$). Положительно заряженная форма гидроксо соединения алюминия $Al(H_2O)_4(OH)_2^+$ нейтрализует едкий натр, предотвращая пенообразование. Получающийся $Al(H_2O)_3(OH)_3$

Таблица 2

Распределение форм гидроксо соединений алюминия в зависимости от pH дисперсионной среды

Форма гидроксо соединений алюминия	Содержание форм гидроксо соединений алюминия, %, при pH дисперсионной среды						
	1,95	2,70	3,75	4,30	5,30	6,80	9,10
$Al(H_2O)_6^{3+}$	100	95	88	85	10	–	–
$Al(H_2O)_5(OH)^{2+}$	–	5	12	10	40	–	–
$Al(H_2O)_4(OH)_2^+$	–	–	–	5	40	20	–
$Al(H_2O)_3(OH)_3$	–	–	–	–	10	80	60
$Al(H_2O)_2(OH)_4^-$	–	–	–	–	–	–	40

адсорбируется на поверхности волокон за счет электростатического взаимодействия с отрицательно заряженными их центрами (гидроксильными группами). Следовательно, предлагаемый технологический режим, основанный на снижении pH наполненной бумажной массы от 8,70...10,14 до 6,80...7,00 за счет введения в смесительный насос строго определенных количеств 10 %-го раствора $Al_2(SO_4)_3$, позволяет не только предотвратить пенообразование, но и уменьшить содержание натриевых солей в удаляемой регистровой воде.

В слабощелочной среде ускоряется процесс набухания целлюлозных волокон и сокращается время, за которое достигается необходимая степень помола. Зависимости изменения степени помола и средневзвешенной длины волокна наполненных бумажных масс (образцы 1–4) от продолжительности их размола представлены на рис. 2.

Анализ зависимостей, представленных на рис. 2, свидетельствует о том, что проведение процесса размола в слабощелочной среде не только сокращает продолжительность фибриллирования с 21 до 15...18 мин при достижении

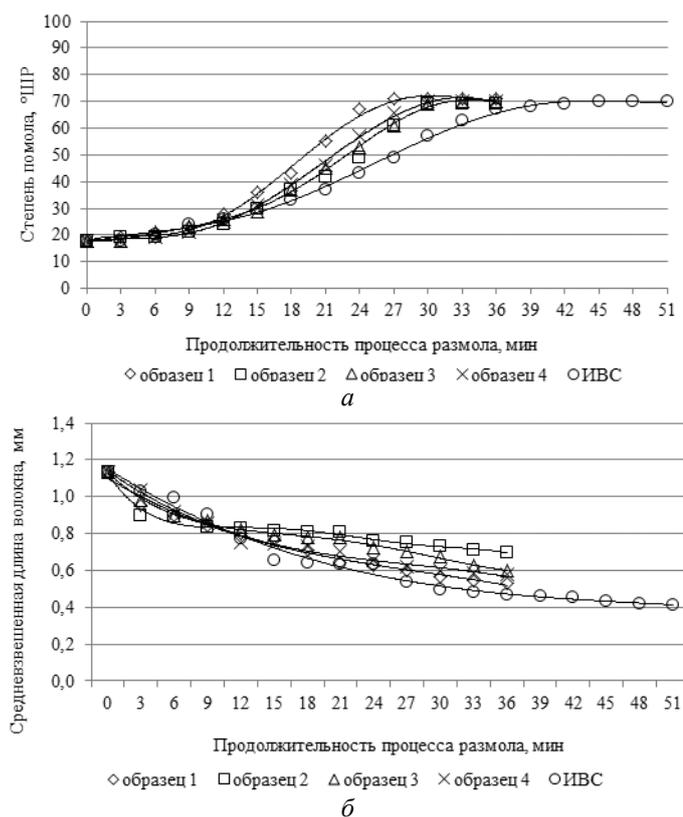


Рис. 2. Изменения степени помола (а) и средневзвешенной длины волокна (б) наполненных бумажных масс (образцы 1–4) и суспензии ИВС при увеличении продолжительности процесса размола от 0 до 51 мин

степени помола $(37 \pm 1)^\circ \text{ШР}$, но и способствует максимальному сохранению средневзвешенной длины волокна (0,811 мм), что на 0,174 мм выше, чем у размолотых до той же степени помола целлюлозных волокон, находящихся в ИВС.

Этот положительный эффект можно объяснить, с одной стороны, ускорением процесса набухания волокон в слабощелочной среде [1, 3, 7], с другой – сокращением продолжительности механического воздействия на волокна при их размоле и замедлением (или предотвращением) их укорочения («рубки»). Это способствует максимальному сохранению их первоначальной длины.

Предлагаемый метод размола волокнистой суспензии в слабощелочной среде (рН 8,70...10,14) сопровождается одновременным образованием высокодисперсных соединений в виде BaSO_4 (образец 1), BaSO_3 (образец 2), CaCO_3 (образец 3), CaSO_4 (образец 4), размер частиц которых, как видно из табл. 1, находится в диапазоне 0,52...0,60 мкм (образец 1), 1,05...1,27 мкм (образец 2), 1,83...2,25 мкм (образец 3) и 0,52...0,60 мкм (образец 4). Полученные частицы имеют высокую белизну, что позволяет использовать их в качестве наполнителей в целях повышения белизны бумаги. В созданных условиях, когда в волокнистую суспензию вводится сначала первый компонент ($\text{Ba}(\text{OH})_2$ или $\text{Ca}(\text{OH})_2$) на стадии диспергирования, а затем второй компонент (Na_2SO_4 , Na_2SO_3 или Na_2CO_3) на стадии фибриллирования, мелкодисперсные частицы наполнителя (BaSO_4 , BaSO_3 , CaSO_3 и CaSO_4) образуются в бумажной массе, равномерно распределяясь не только на поверхности волокон за счет электростатического взаимодействия, но и в люменах волокон. Поэтому в наполненной бумажной массе (в межволоконном пространстве) может присутствовать остаточное (минимальное) количество форм гидроксосоединений алюминия $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{OH})_2^+$ и $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_3(\text{OH})_3$ в случае, если для снижения рН массы от слабощелочной среды до нейтральной в дисперсную систему введено (в смесительный насос) избыточное количество электролита, имеющего рН 6,80...7,00 и содержащего $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ ($R_1 = 95\%$) и $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_5(\text{OH})^{2+}$ ($R_2 = 5\%$).

Волокна после внешнего и внутреннего фибриллирования обладают улучшенными бумагообразующими свойствами. Об этом свидетельствуют высокие значения разрывной длины у исследуемых образцов бумаги (рис. 3 а). При этом присутствующие в их структуре высокодисперсные соединения (BaSO_4 , BaSO_3 , CaSO_3 и CaSO_4) играют роль наполнителей, о чем свидетельствует повышение белизны (рис. 3 б) от 67,48 до 73,39 %. В качестве флокулянта использовали полиэтиленимин с расходом 0,05 % от а. с. в.

Повышение белизны образцов бумаги на 5,91 % объясняется, на наш взгляд, увеличением степени удержания от 58...62 до 90 % и более впервые полученных нами в волокнистой суспензии высокодисперсных соединений. Размер частиц дисперсной фазы находится в диапазоне 0,52...2,25 мкм,



a



b

Рис. 3. Разрывная длина (*a*) и белизна (*b*) образцов бумаги в зависимости от состава бумажных масс (образцы 1–4) и вида присутствующих в них высокодисперсных соединений: 1 – BaSO₄; 2 – BaSO₃; 3 – CaSO₃; 4 – CaSO₄

в то время как традиционные (природные) наполнители имеют размер 0,50...5,00 мкм. Это объясняется равномерным распределением и прочной фиксацией высокодисперсных частиц получаемых соединений на поверхности волокон в режиме гетероадагуляции и в их люменах в режиме пенитрации [7].

Таким образом, содержание взвешенных веществ в подсеточной воде, удаленной из наполненной синтетическими соединениями бумажной массы, содержащей первичные (целлюлозные) волокна не превышает 38 г/дм³, что в 2,5–3,0 раза ниже по сравнению с бумажной массой, наполненной традиционными природными наполнителями. Это можно объяснить повышением степени удержания частиц наполнителя в структуре бумаги от 60 % по традиционной

Таблица 3

**Степень удержания высокодисперсных соединений
в структуре образцов бумаги массой 2,51 г и потери компонентов
бумажной массы с регистровой водой**

Номер образца бумажной массы	Степень удержания, %	Компонентный состав, г			
		образца бумаги		регистровой воды	
		Волокно	Высоко- дисперсное соединение	Волокно	Высоко- дисперсное соединение
1 (BaSO ₄)	99,92	2,211	0,244	0,072	0,007
2 (BaSO ₃)	99,92	2,213	0,245	0,046	0,007
3 (CaCO ₃)	99,85	2,177	0,248	0,083	0,003
4 (CaSO ₄)	99,84	2,198	0,246	0,061	0,005
ИВС	–	2,502	–	0,008	–

технологии наполнения до 99 % по разработанной нами технологии наполнения. Поэтому применение синтетических высокодисперсных наполнителей не потребует дополнительных затрат на очистку воды.

Установлено, что повышенная степень удержания высокодисперсных соединений в структуре бумаги (табл. 3) позволяет минимизировать их потери на стадии обезвоживания наполненной бумажной массы и формирования структуры полотна на сеточном столе БДМ. Это имеет важное практическое значение в технологии бумаги, когда в ее структуре должен присутствовать наполнитель, потери которого должны быть минимальными.

Выводы

1. Полученные высокодисперсные синтетические наполнители BaSO₄, BaSO₃, CaCO₃ и CaSO₄, размер частиц дисперсной фазы которых не превышает 2,25 мкм, способны образовываться не только в межволоконном пространстве, равномерно распределяться монослоем и прочно фиксироваться на поверхности волокон, но и образовываться в люменах волокон, заполняя их внутреннее пространство. Поэтому процесс наполнения бумажной массы протекает в режимах гетероадагуляции и пенитрации. Это позволяет увеличить степень удержания наполнителя в структуре бумаги от 58...62 % (наполнение природными крупнодисперсными соединениями в традиционном режиме гомотоадагуляции) до 99,84...99,92 % (наполнение синтетическими высокодисперсными соединениями в более эффективных режимах гетероадагуляции и пенитрации).

2. Особенность получения высокодисперсных синтетических наполнителей заключается в том, что при химическом взаимодействии первого (Ba(OH)₂ или Ca(OH)₂ – вводится на стадии роспуска волокнистого сырья) и второго (Na₂SO₄, Na₂SO₃ или Na₂CO₃ – вводится на стадии размолва волокнистой суспензии) компонентов образуется гидроксид натрия NaOH, создающий в бумажной массе слабощелочную среду (pH 9,22...10,14). В этих условиях ускоряется процесс набухания волокон, что позволяет предотвратить их ук-

рочение и максимально сохранить первоначальную длину (0,811 мм). Это имеет важное значение при получении высокозольных видов бумаги, к которым предъявляют высокие требования по прочности и белизне.

3. Образцы бумаги, полученные с использованием новых высокодисперсных соединений, обладают высокими показателями оптических и физико-механических свойств: белизна повышается на 8,8 % (от 67,48 до 73,39 %) и разрывная длина превышает 7480 м.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Азаров В.И., Буров А.В., Оболенская А.В. Химия древесины и синтетических полимеров. СПб.: СПбЛТА, 1999. 628 с.
2. Копылович М.Н., Радион Е.В., Баев А.К. Распределение различных форм алюминия (III) и меди (II) в растворах и схема процесса гетероядерного гидроксокомплексообразования // Координ. химия. 1995. Т. 21, № 1. С. 66–71.
3. Махотина Л.Г. Современные тенденции в технологии бумаги для печати // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2008. № 3. С. 52–55.
4. Назаренко В.А., Антонович В.Н., Невская Е.М. Гидролиз ионов металлов в разбавленных растворах. М.: Атомиздат, 1979. 192 с.
5. Технология целлюлозно-бумажного производства: в 3 т. СПб: Политехника, 2002–2006. Т. 2: Производство бумаги и картона. Ч. 2: Основные виды и свойства бумаги, картона, фибры и древесных плит. 499 с.
6. Фляте Д.М. Технология бумаги. М.: Лесн. пром-сть, 1988. 440 с.
7. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы: учеб. для вузов. М.: Химия, 1988. 464 с.

Поступила 12.12.14

UDC 676.024.61

The Features of Fiber Suspension Beating Process under the Conditions of Its Filling by Synthetic Superfine Compounds in Weakly Alkaline Medium

T.O. Shcherbakova, Postgraduate Student
N.V. Chernaya, Doctor of Engineering, Professor

Belarusian State Technological University, str. Sverdlova, 13a, Minsk, 220006, Republic Belarus; e-mail: t_scherbakova@mail.ru

The beating process of fibrous raw material is one of the most important and energy-consuming technological processes in the pulp and paper industry. The conditions of beating process determine the basic physical and mechanical quality of paper products. The purpose of the work was to study the features of beating process of fiber suspension, filled in a weakly alkaline medium by highly dispersed compounds BaSO₄, BaSO₃, CaSO₃ and CaSO₄. They were obtained in the fiber suspension by sequential adding of 10 % suspensions of the first component (Ba(OH)₂ or Ca(OH)₂), and of 10 % solutions of the second component (Na₂SO₄, Na₂SO₃ or Na₂CO₃). Uniformly distributed in the inter-fiber space these solutions penetrate into the fiber lumens and form superfine compounds BaSO₄, BaSO₃, CaSO₃ and CaSO₄, that allow to change the traditional mode of homocoagulation filling into the more

effective mode of heteroadagulation while penetration. We propose the conditions of the paper mass filling by the synthetic superfine compounds in a weakly alkaline medium that allow to obtain a uniform highly dispersed particles of the internal phase of the filling substance, but also increase the retention rate of filler in the paper structure from 60 % up to 99 %, reduce the fibrillation period and save the fiber length (0,811 mm). As a result the authors got the improved indicators of paper quality and reduced the traditionally non-recoverable losses of fillers with water register at the stage of paper structure formation on a wire table of a paper machine. Based on the results of the research the parameters of the beating process are identified for the best physical and mechanical properties of paper quality while energy usage reducing by 7–10 %.

Keywords: superfine compounds, weakly alkaline medium, beating, beating rate, beating period, weighted average fiber length, paper, retention rate of filler, breaking length, whiteness.

REFERENCES

1. Azarov V.I., Burov A.V., Obolenskaya A.V. *Khimiya drevesiny i sinteticheskikh polimerov* [Wood Chemistry and Synthetic Polymers]. Saint Petersburg, 1999. 628 p.
2. Kopylovich M.N., Radion E.V., Baev A.K. Raspredelenie razlichnykh form aluminiya (III) i medi (II) v rastvorakh i skhema protsessa geteroyadernogo gidroksokompleksoobrazovaniya [Distribution of Various Forms of Aluminum (III) and Copper (II) in Solutions and the Process Scheme of Heteronuclear Hydro and Complex Formation]. *Coordination Chemistry*, 1995, vol. 21, no. 1, pp. 66–71.
3. Makhotina L.G. Sovremennye tendentsii v tekhnologii bumagi dlya pechati [Current Trends in the Printing Paper Technology]. *Pulp. Paper. Board*, 2008, no. 3, pp. 52–55.
4. Nazarenko V.A., Antonovich V.N., Nevskaya E.M. *Gidroliz ionov metallov v razbavlennykh ionov metallov v razbavlennykh rastvorakh* [Hydrolysis of Metal Ions in the Dilute Solutions]. Moscow, 1979. 192 p.
5. *Tekhnologiya tsellyulozno-bumazhnogo proizvodstva. T. 2: Proizvodstvo bumagi i kartona. Ch. 2: Osnovnye vidy i svoystva bumagi, kartona, fibry i drevesnykh plit* [Technology of Pulp and Paper Production. Vol. 2. Paper and Cardboard Production. Part 2. Basic Types and Properties of Paper, Cardboard, Fiber and Wood-Based Panels]. Saint Petersburg, 2006. 499 p.
6. Flyate D.M. *Tekhnologiya bumagi* [Paper Technology]. Moscow, 1988. 440 p.
7. Frolov Yu.G. *Kurs kolloidnoy khimii. Poverkhnostnye yavleniya i dispersnye sistemy* [Colloid Chemistry Course. Surface Phenomena and Disperse Systems]. Moscow, 1988. 464 p.

Received on December 12, 2014

УДК 547.992.3

**СОЛЬВОЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ ЛИГНИНОВ
В ВОДНЫХ И СПИРТОВЫХ РАСТВОРАХ ГИДРОКСИДА НАТРИЯ***© *Е.В. Ипатова¹, асп.**С.М. Крутов¹, канд. хим. наук, проф.**И.В. Грибков², канд. хим. наук, региональный директор**Ю.Н. Сазанов³, д-р хим. наук, проф.*¹С.-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, Институтский пер., 5, г. С.-Петербург, Россия, 194021; e-mail: ftaorgchem@yandex.ru²Городской центр экспертиз–Экология, ул. Бухарестская, 6, г. С.-Петербург, Россия, 192102; e-mail: ivan.gribkov@gmail.com³Институт высокомолекулярных соединений РАН,

Большой пр-т, 31, г. С.-Петербург, Россия, 199004; e-mail: sazanov@hq.macro.ru

Гидролизный лигнин представляет особый интерес в качестве перспективного исходного сырья для получения ароматических соединений для дальнейшего их использования, в том числе и для последующего органического синтеза. Одним из способов модификации лигнина является его деструкция с использованием оснований. Работа посвящена исследованию процессов сольволиза гидролизного лигнина в растворах гидроксида натрия в различных условиях. Для исследований взят гидролизный лигнин Кировского биохимического завода. Воздушно-сухие образцы лигнина просеивали через сита (~0,25 мм) и измельчали на роторно-вихревой мельнице (~5 мкм). Установлено влияние условий обработок на степень деструкции гидролизного лигнина в зависимости от концентрации щелочи (2...10 %), вида растворителя (вода, этанол), гидромодуля (от 1:10 до 1:25), температуры (100...240 °С), времени варки (0,5...2,5 ч), степени измельчения образца (0,25 мм и 5 мкм). Для оценки глубины фрагментации лигнина продукты его щелочной деструкции в водной и спиртовой средах исследовали методом высокоэффективной эксклюзионной хроматографии. Показано, что с увеличением температуры обработок увеличивается доля низкомолекулярных соединений – олигомеров. Для характеристики структурных изменений в процессе сольволиза образцы продуктов щелочной деструкции лигнина были проанализированы методом твердотельного ¹³С ЯМР. Определено количественное соотношение кластеров «C_{Ar-O}», «C_{Ar-C}», «C_{Ar-H}» в исходном лигнине, продуктах щелочной деструкции гидролизного лигнина, варки при температуре 200 и 220 °С. Анализ показал, что увеличение температуры щелочных обработок приводит к увеличению количества углерод-углеродных связей в лигнине. В результате проведенных исследований установлено, что наибольшая глубина деструкции гидролизного лигнина наблюдается при использовании следующих условий: 5% NaOH, продолжительность обработок 2 ч, гидромодуль 1:20. Показано, что глубина деструкции возрастает в интервале температур 180...240 °С, при этом степень растворения технического гидролизного лигнина достигает 99 %. При данных условиях процесс деструкции исследованных образцов лигнина в спиртовой щелочи протекает быстрее и глубже в сравнении с водным раствором гидроксида натрия.

Ключевые слова: гидролизный лигнин, деструкция лигнина.

* Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ №14-13-00448.

Одним из промышленных направлений использования возобновляемого растительного сырья – биомассы дерева является метод кислотного гидролиза, имевший широкое распространение в XX в. Получаемый по этой технологии этанол применялся для последующего синтеза синтетического каучука. Так, на территории бывшего СССР было построено около 50 заводов [14].

В результате использования этой технологии образуется крупномасштабный побочный продукт – технический гидролизный лигнин (ТГЛ). Только в России на отвалах заводов накоплено десятки миллионов тонн отходов, что может стать причиной серьезных экологических проблем [3]. Несмотря на необходимость утилизации гидролизного лигнина, эта проблема до сих пор не решена из-за трудностей переработки этого продукта, связанных с его структурными особенностями.

Значительный вклад в исследование строения гидролизного лигнина и поиск направлений его утилизации внесен группой исследователей под руководством М.И. Чудакова. Им были применены различные химические методы: нитробензольное окисление, перманганатное окисление, гидрогенизация, этанолиз и др. Полученные данные позволили предложить гипотетический вариант структуры гидролизного лигнина, приведенный на рис. 1 [14].

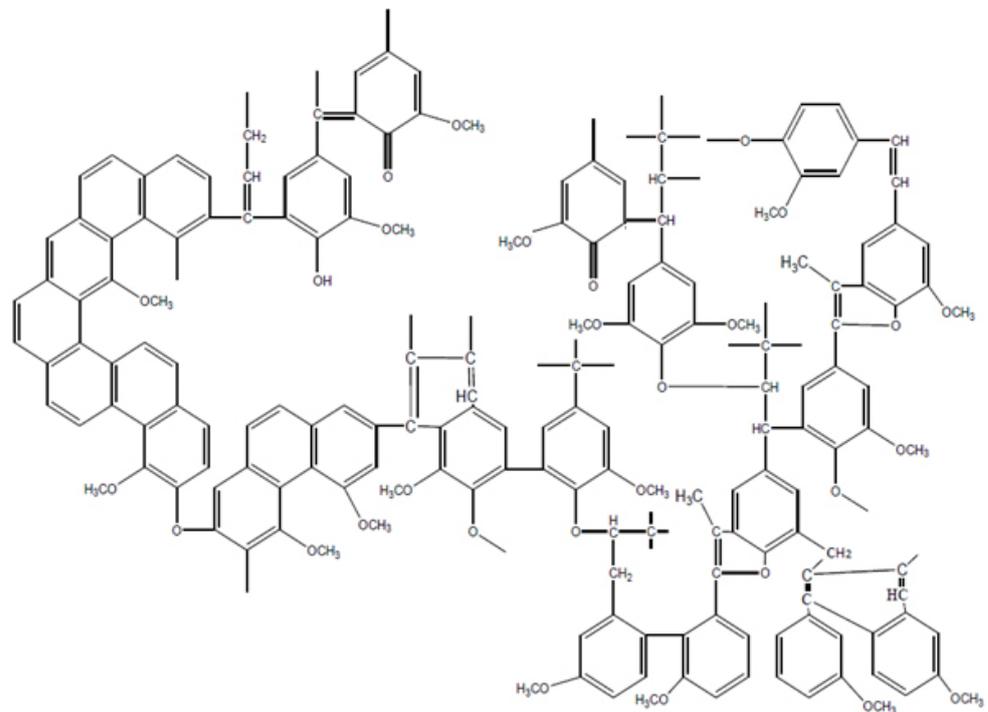


Рис. 1. Схема строения фрагмента гидролизного лигнина (М.И. Чудаков)

В предложенной схеме обращает на себя внимание наличие конденсированных структур, различных эфирных α - и β -связей, роль которых показана в дальнейших исследованиях.

Методами нитробензольного окисления и озонлиза установлено преобладание структур, содержащих β -О связи в трео-форме [9, 17].

Процесс кислотного гидролиза при повышенных температурах приводит к изменениям в строении основных компонентов древесины, в том числе и лигнина. Наблюдается разрыв, главным образом, С-О связей, не включенных в фенилкумарановые структуры. Фрагменты лигнина, включающие в себя β -О эфирные связи, сравнительно устойчивы и сохраняются. Так как эти связи превалируют в природном лигнине, то их сохранение в гидролизном лигнине, наряду с конденсационными процессами и изменениями сетчатой структуры гидролизного лигнина, затрудняют его фрагментацию [5].

Из литературы известны различные способы утилизации гидролизного лигнина: газификация, получение топливных пеллет, биотоплива, компостов, адсорбентов, осветляющих углей, нитролигнина и хлорлигнина, лигнопенополиуретанов, полимерных катодных материалов, добавок для нефтебитумных композиций, заменителей природных дубителей кожи и др. Однако вышперечисленные направления не получили широкого промышленного применения [4, 6, 10, 12]. Наиболее удачным можно назвать получение на основе гидролизного лигнина энтеросорбентов «Полифепан».

Гидролизный лигнин представляет интерес для получения ароматических соединений, в том числе и для их последующего использования в органическом синтезе. В этом направлении предприняты разные подходы к получению низкомолекулярных соединений: пиролиз, биологическая деградация, радиолит, кислотный гидролиз и др. [1, 5, 7, 8, 11, 13, 16, 17, 18, 21].

Нам представляется перспективным метод деструкции лигнина с использованием оснований в различных условиях [2, 20, 22, 23].

Деструкция лигнина в этих условиях в первую очередь приводит к его фрагментации из-за разрыва, эфирных С-О-С связей и, возможно, С-С связей, соединяющих фенилпропановые единицы (ФПЕ). При этих обработках отмечено уменьшение количества метоксильных групп. Параллельно протекают и реакции образования новых углерод-углеродных связей [9].

Показано, что основными низкомолекулярными компонентами продуктов щелочного сольволиза гидролизного лигнина являются ванилин, 3-метокси-4-гидроксиацетофенон, 4-гидроксibenзойная кислота, 1-(3,4-диметоксифеноксипропанон, 4-(2-гидроксивинил)-гваякол, ванилиновая кислота, дигидроксиконифероловый спирт, используемые в технологиях органического синтеза [15].

Целью работы является изучение процессов сольволиза ТГЛ для выделения низкомолекулярных реакционно-способных соединений – основы композитных прекурсоров углеродных материалов и др. В эксперименте использован гидролизный лигнин Кировского биохимического завода (табл. 1).

Таблица 1

Групповой состав исследованных образцов технических лигнинов

Образец гидролизного лигнина	Зольность, %	Экстрактивные вещества, %				Лигнин Класона, %
		Гексановый экстракт	Хлороформовый экстракт	Ацетоновый экстракт	Общее содержание	
Исходный лигнин, отсеянная фракция, 0,25 мм	6,91	5,91	5,96	2,43	14,30	65,25
Микронизированный лигнин, 5 мкм	7,5	0,84	4,31	2,15	7,30	66,55

Воздушно-сухие образцы лигнина просеивали через сита (размер частиц ~0,25 мм) и измельчали на роторно-вихревой мельнице (размер частиц ~5 мкм). Измельчение лигнина – микронизация [19] – реализована при прохождении через рабочую зону роторно-вихревой мельницы в уплотненном слое.

Плоский ротор с вертикальным валом имеет выступы на кромке, под ним имеется соосное круглое центральное отверстие для разгрузки готового порошка. Линейная скорость кромки ротора составляет 200 м/с. Крупность порошка экспериментально определяли за счет изменения зазоров между кромкой ротора и выступами на статоре. Температура порошка на выходе не превышала 40 °С, отвод тепла в рабочей зоне осуществляли проточной водой.

Степень измельчения образцов определяли методами электронной микроскопии и лазерного дифракционного анализа.

На приборе Zeiss Supra 55vp были сделаны фотографии образцов лигнина, полученных после измельчения. В соответствии с заданным масштабом накладывали сетку, визуально определяли геометрические параметры частиц, статистически обрабатывали.

Лазерный дифракционный анализ проводили на приборе Analysette 22 СОМРАСТ фирмы «Fritsch» (Германия). Образец гидролизного лигнина после микронизации в кювете диспергировали в спирте. В качестве источника света использовался гелий-неоновый лазер.

Условия обработок гидролизного лигнина: температура – 100...240 °С, продолжительность варки – 0,5...2,5 ч, гидромодуль обработки – от 1:10 до 1:25. Обработки проводили в водных и спиртовых растворах NaOH в диапазоне концентраций 2...10 %.

Навеску лигнина массой 5 г помещали в автоклав, заливали растворами NaOH (100 мл) известных концентраций. Полученные после щелочных варок растворы фильтровали на стеклянных фильтрах. Фильтры сушили до постоянной массы при температуре 105 °С, взвешивали и по массе нерастворимого осадка определяли степень растворения, которая указывала на глубину деструкции лигнина после варки.

Определение оптимальных условий сольволиза лигнина

Щелочные варки образцов ТГЛ проводили в водных и спиртовых растворах при температуре 100...180 °С, продолжительности 0,5...2,5 ч, гидромодуле от 1:10 до 1:25 и концентрации NaOH 2...10 %. Продукты щелочной обработки промывали на фильтрах 50 мл дистиллированной воды. После фильтрования осадок сушили в сушильном шкафу до постоянной массы. Полученные продукты деструкции исследовали методом высокоэффективной жидкостной хроматографии.

Обработка продуктов деструкции лигнина катионообменной смолой

Щелочные варки в 2,5 и 5,0 %-х водных растворах проводили при температуре 200...240 °С в течении 2 ч. Полученные растворы после варок разбавляли в 2 раза, фильтровали на стеклянном фильтре (40 мкм).

Для удаления ионов натрия и восстановления H^+ формы продукты деструкции обрабатывали катионообменной смолой КУ2-8. Процесс восстановления проводили двумя способами: в стеклянных колонках, наполненных катионообменной смолой, и в колбе при перемешивании.

В стеклянную колонку, заполненную катионитом (300 мл), вносили полученный после щелочной варки и фильтрации образец (200 мл), затем элюировали последовательно водой, спиртом и ацетоном до обесцвечивания выходящего из колонки элюента с получением соответствующих фракций.

По другому способу в колбу с продуктами деструкции при интенсивном перемешивании магнитной мешалкой добавляли катионообменную смолу, что приводило к снижению pH до 2,3. Далее смолу отделяли на стеклянном фильтре при вакууме, промывали спиртом.

Процесс восстановления в колонках требовал большого расхода растворителей на элюирование (от 500 до 1000 мл), выходы соответствующих фракций не воспроизводились от опыта к опыту (табл. 2). Вследствие чего был выбран метод обработки катионообменной смолой при непосредственном перемешивании с продуктами деструкции лигнина.

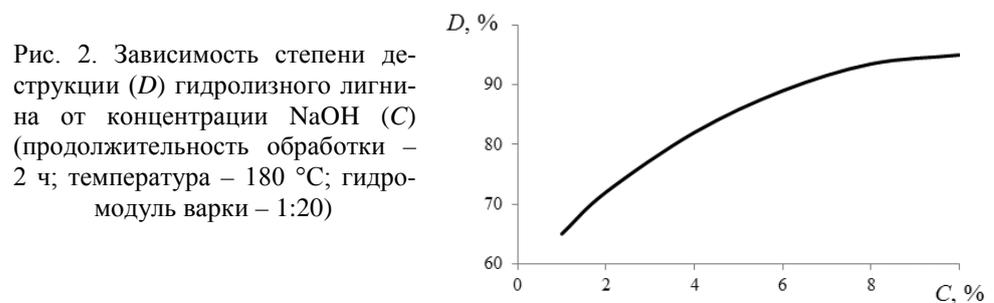
Полученные водные и спиртовые фракции выпаривали на роторном испарителе, сушили до постоянной массы и анализировали методами высокоэффективной эксклюзионной жидкостной хроматографии и эксклюзионной хроматографией совместно с масс-спектрометрией ESI-MS для определения структурных характеристик полученных фрагментов.

Для проведения анализа методом эксклюзионной хроматографии лигнин растворяли в диметилформамиде, содержащем 0,1M LiCl, и анализировали на приборе PL-GPC 110 System, оснащенный двумя колонками Plgel 10 мкм MIXED D 300 мм × 7,5 мм и рефракционным детектором. Пробы вводили при температуре 70 °С, расход элюента составлял 0,9 мл/мин. Калибровку выполняли с помощью модельных соединений лигнина (мономер, димер и тетрамер) и набора лигнинов, ранее охарактеризованных ESI-MS (крафт-лигнин и диоксан-лигнин эвкалипта).

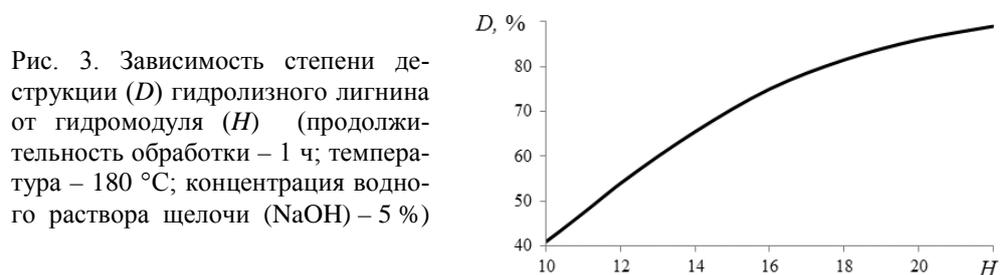
Количественные ^{13}C ЯМР спектры образцов лигнина после деструкции записывали на спектрометре Bruker Avance 300, работающем на частоте 75,47 МГц (318 К) с тетраметилсиланом в качестве внутреннего стандарта. Лигнин растворяли в ДМСО- d_6 (концентрация 25 %) и помещали в трубки диаметром 5 мм. Условия снятия спектров: ширина импульса 4,1 мс (90° импульс), релаксационная задержка 12 с, 16К точек данных, 18 000 сканирований.

Для определения влияния условий щелочного сольволиза на степень деструкции лигнина проведены щелочные обработки ТГЛ в зависимости от концентрации щелочи, вида растворителя, гидромодуля, температуры и времени варки.

На рис. 2 представлены данные по влиянию концентрации и гидромодуля на степень растворения деструкции лигнина.



Из рис. 2 следует, что с увеличением концентрации щелочи от 2 до 10 % возрастает степень растворения образца в заданных условиях обработки. Значительный рост деструкции гидролизованного лигнина (в среднем на 14 %) достигается в интервале концентрации щелочи от 2 до 4 %. Рост концентрации щелочи (до 7...10 %) приводит к незначительному повышению степени деструкции (лишь на 3...4 %). Поэтому в дальнейшем использовали NaOH концентрацией 5 %.



Из рис. 3 видно, что с ростом гидромодуля от 1:18 до 1:23 происходит значительное увеличение глубины деструкции лигнина (наибольшее значение степени деструкции достигалось в интервале от 1:20 до 1:25).

На основании полученных данных оптимальными условиями для обработки являются концентрация NaOH 5 % и гидромодуль 1:20, поэтому далее применяли именно эти условия.

Для выяснения влияния температурных условий и природы растворителя была изучена деструкция ТГЛ в водных и спиртовых (этанол) растворах щелочей (рис. 4).

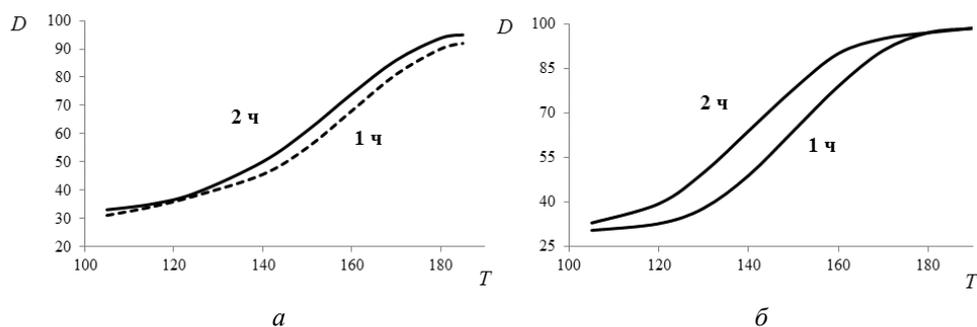


Рис. 4. Зависимость степени деструкции (D , %) гидролизного лигнина от температуры (T , °C) обработки (продолжительность 1 и 2 ч.; концентрация NaOH 5 %):
a – водный раствор NaOH; *б* – спиртовой раствор

Начало деструкции начинается при температуре $T = 150$ °C, максимальная степень деструкции (90 %) достигается при 180...190 °C. С увеличением продолжительности обработки процесс идет более интенсивно, особенно в спиртовом растворе NaOH по сравнению с водным раствором.

Для оценки глубины фрагментации лигнина в зависимости от температуры продукты его щелочной деструкции в водной и спиртовой средах исследовали методом высокоэффективной эксклюзионной хроматографии (рис. 5).

Результаты эксклюзионной хроматографии показывают, что во всех случаях образуются соединения с относительно невысокой молекулярной массой. С ростом температуры, как в водных, так и в спиртовых средах, возрастает общее содержание низкомолекулярных соединений (НМС). При температуре, превышающей 160 °C, идет накопление тетрамерных продуктов, время элюирования 21...23 мин.

Распределение продуктов деструкции лигнина в спиртовом растворе щелочи показывает аналогичную тенденцию к накоплению низкомолекулярных фрагментов и увеличению количества НМС с повышением температуры. Полученные данным методом продукты деструкции имеют меньшую молекулярную массу.

Таким образом, в результате исследования процесса щелочного сольволиза были определены параметры процесса, при которых достигается степень растворения лигнина свыше 80 %: температура – 180 °C, продолжительность – 1...2 ч. Установлено, что при температуре 200 °C, продолжительности 2 ч, концентрации щелочи 5 % (водный раствор), гидромодуле 1:20 достигается выход целевых продуктов 92 %.

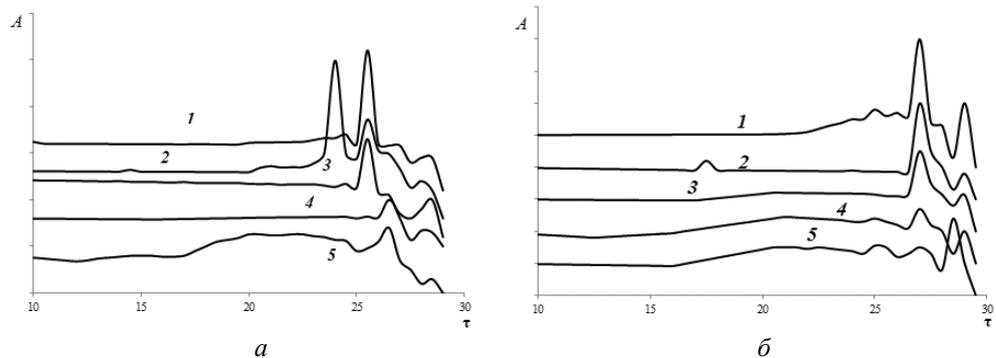


Рис. 5. Молекулярно-массовое распределение продуктов щелочной деструкции гидролизного лигнина (A – интенсивность, мВ; τ – время элюирования, мин): a – водный, b – спиртовой раствор щелочи; 1 – температура 100 °С, 2 – 130, 3 – 140, 4 – 160, 5 – 180 °С

Следующим этапом работы было определение влияния степени измельчения образцов лигнина и повышенных температур (200...240 °С) щелочной обработки на свойства получаемых продуктов деструкции с последующим переводением их в H^+ форму.

Экспериментальные данные по выходу продуктов щелочных обработок гидролизного лигнина и условиям восстановления продуктов деструкции катионообменной смолой представлены в табл. 2.

Таблица 2

Режимы щелочных варок ТГЛ и обработка катионообменной смолой

Условия варки			Размер фракции лигнина, мм	Степень растворения, %*	Обработка катионообменной смолой		Выход фракции, %		
Температура, °С	Время, ч	Концентрация NaOH, %			Способ проведения	Конечное значение pH	водной	спиртовой	ацетоновой
200	2	5	0,25	93,16	Колонка	2,65	54,67	27,13	2,69
220	2	5	0,25	97,41	»	2,80	26,73	61,45	11,83
220	2	5	0,25	99,51	Перемешивание	2,75	97,79	2,21	–
220	2	5	0,005	97,20	»	3,37	94,03	1,45	–
240	2	5	0,25	98,30	»	2,34	76,75	5,77	–
220	1	5	0,25	97,88	»	3,17	95,14	3,20	–
220	2	2,5	0,25	97,90	»	3,00	96,28	0,84	–

*Рассчитана относительно разницы между массой навески лигнина и массой нерастворимого остатка после щелочных обработок.

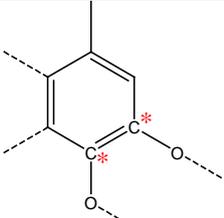
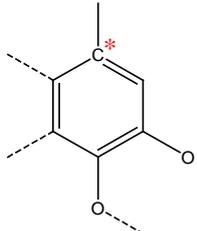
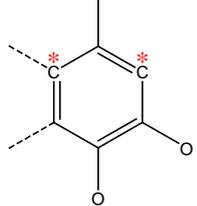
Как следует из приведенных в табл. 2 данных, степень растворения лигнина при щелочных варках с температурой выше 200 °С в течение 2 ч достаточно высока (до 99 %). В процессе обработок продуктов деструкции катионообменной смолой с использованием колонок установлено неравномерное распределение веществ по фракциям. Показано преобладание водных фракций (выход до 96 %) с применением смолы при непосредственном перемешивании.

вании с продуктами. Данный способ оказался оптимальным для получения продуктов щелочной деструкции в H⁺ форме.

Для характеристики структурных изменений в процессе сольволиза образцы продуктов щелочной деструкции лигнина были проанализированы методом твердотельного ¹³C ЯМР (табл. 3).

Таблица 3

Относительное содержание ароматических атомов углерода в пересчете на 6 углеродов бензольного кольца ФПЕ

Фрагмент лигнина	Кластер	Относительное содержание		
		исходного гидролизного лигнина	продуктов щелочной деструкции гидролизного лигнина при температуре варки, °С	
			200	220
	«C _{Ar-O} »	1,78	2,40	2,05
	«C _{Ar-C} »	1,88	1,20	1,55
	«C _{Ar-H} »	2,34	2,40	2,39

* Углеродные атомы ароматического кольца, которым соответствуют сигналы твердотельного ¹³C ЯМР.

Анализ образцов продуктов деструкции гидролизного лигнина показал, что рост температуры щелочных обработок увеличивает количество углерод-углеродных связей в лигнине. Обработка в течение 2 ч при температуре 220 °С приводит к глубокой деструкции углеводной части.

Для оценки степени деструкции лигнина продукты щелочных обработок (варки 5 %-м NaOH, 2 ч) проанализированы методом высокоэффективной эксклюзионной жидкостной хроматографии.

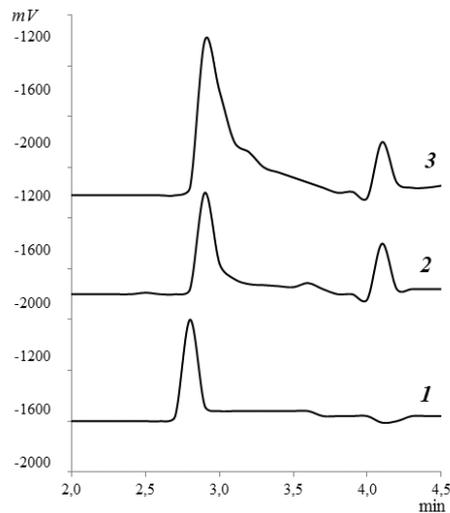


Рис. 6. Молекулярно-массовое распределение образцов продуктов щелочной деструкции гидролизного лигнина (водная фракция): 1 – варка при температуре 200°C; 2 – 220; 3 – 240°C (вертикальная ось – сигнал детектора; горизонтальная – продолжительность)

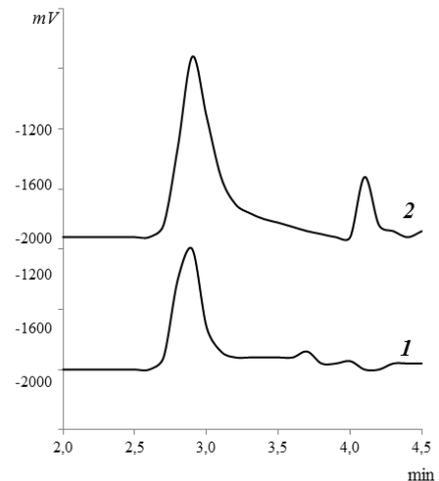


Рис. 7. Молекулярно-массовое распределение образцов продуктов щелочной деструкции гидролизного лигнина (температура 200 °С): 1 – водная фракция, 2 – спиртовая фракция (см. подпись к рис. 6)

Из хроматограмм на рис. 6 видно, что увеличение температуры обработки во время щелочной варки приводит к образованию более низкомолекулярных соединений.

Хроматограммы на рис. 7 подтверждают, что при обработке катионообменной смолой в колонке со спиртом выходит более низкомолекулярная фракция, включающая олигомеры и мономеры.

Выводы

1. Молекулярно-массовые распределения продуктов щелочной деструкции образцов лигнина (фракция 0,25 мм) и микронизированного (5 мкм) лигнина схожи по составу.

2. Наибольшая глубина деструкции гидролизного лигнина наблюдается при следующих условиях: NaOH – концентрация 5 %, продолжительность обработок – 2 ч, гидромодуль 1:20.

3. Глубина деструкции возрастает в интервале температуры 180... 240 °С, при этом степень растворения ТГЛ достигает 99 %.

4. При выбранных условиях процесс деструкции в спиртовом растворе щелочи протекает быстрее и глубже, чем в водном.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев А.И., Селянина С.Б., Богданович Н.И. Сорбционные свойства листовых и хвойных сульфатных лигнинов // Химия растит. сырья. 2012. № 2. С. 33–39.
2. Грибков И.В., Крутов С.М., Зарубин М.Я. Изучение строения и свойств промышленных гидролизных лигнинов // Изв. СПбГЛТА. 2007. Вып. № 179. С. 201–210.
3. Грушников О.П., Елкин В.В. Достижения и проблемы химии лигнина. М.: Наука, 1973. С. 296.
4. Домбург Г.Э. Перспективы пирогенетической переработки гидролизного лигнина // Перспективы использования древесины в качестве органического сырья. Рига: Зинатне, 1982. С. 134–151.
5. Евстигнеев Э.И. Окисление гидролизного лигнина пероксидом водорода в кислой среде // Журн. приклад. химии. 2013. Т. 86, вып. 2. С. 278–285.
6. Зарубин М.Я., Крутов С.М. Исследование технического гидролизного лигнина и продуктов его щелочной деструкции // Изв. СПбГЛТА. 2003. Вып. № 179. С. 222–228.
7. Кирюшина М.Ф., Федулina Т.Г., Зарубин М.Я. Кинетика щелочной деструкции препаратов лигнина и лигнин-углеводного комплекса в водных растворах высокоосновных органических растворителей // Химия растит. сырья. 2009. № 1. С. 15–17.
8. Ковалева В.В. Окислительная деструкция лигнина и лигноцеллюлозных материалов под действием озона: дисс. ... канд. хим. наук. М.: МГУ, 2000. С. 150.
9. Крутов С.М., Зарубин М.Я., Сазанов Ю.Н. Лигнины. СПб.: СПбГЛТА, 2011. С. 381.
10. Куликов К.В., Литвинов В.В., Пиялкин, В.Н. Забелкин С.А., Башикиров В.Н. Получение и исследование жидких биотоплив из биомассы дерева методом пиролиза // Вестн. Казанского технолог. ун-та. 2012. № 13. С. 197–201.
11. Лахманов Д.Е., Хабаров Ю.Г., Попов В.А. Изучение деполимеризации гидролизного лигнина азотной кислотой в водно-спиртовой среде // Материалы V международного конф. «Физикохимия растительных полимеров», 2013. С. 145–146.
12. Сазанов Ю.Н. Потенциальная активность гидролизного лигнина в реакциях сополимеризации // Журн. приклад. химии. 2009. Т. 82, вып. 9. С. 1493–1499.
13. Сумерский И.В., Крутов С.М., Пранович А.В., Зарубин М.Я. Исследование гидролизных лигнинов методом DFRC // Лесн. журн. 2010. № 2. С. 141–146.
14. Чудаков М.И. Промышленное использование лигнина. // Лесн. пром-сть. М., 1983. С.127, 200.
15. Hatakeyama H., Tsujimoto Y., Zarubin M.Ja., Krutov S.M. Thermal decomposition and glass transition of industrial hydrolysis lignin // J. Therm. Anal. Calorim. 2010. 101. P. 289–295.
16. Ipatova E.V., Evtuguin D.V., Krutov S.M., Santos S.A.O., Sazanov Yu.N. Modification of hydrolysis lignin for valuable applications // Proceedings of 13 EWLP. 2014. P. 431–434.
17. Matsumoto, Y., Ishizu A., Nakano J. Studies on chemical structure of lignin by ozonation // Holzforschung. 1986. Vol. 40. P. 81–85.
18. Mu W., Ben H., Ragauskas A., Deng Lignin Y. Pyrolysis Components and Upgrading–Technology Review // BioEnergy Research. Springer US. 2013. Vol. 6, I. 4. P. 1183–1204.

19. Navarro D., Couturier M., gaSilva G.G.D., Berrin J.G., Rouan X., Asther M., Bignon C. Automated assay for screening the enzymatic release of reducing sugars from micronized biomass // *Microbial Cell Factories*. 2010. 9. P. 58–60.

20. Nenkova S., Vasileva T., Stanulov K. Production of phenol compounds by alkaline treatment of technical hydrolysis lignin and wood biomass // *Chemistry of Natural Compounds*. 2008. Vol. 44, I.2. P. 182.

21. Ponomarev A.V., Kholodkova E.M., Metreveli A.K. Phase distribution of products of radiation and post-radiation distillation of biopolymers: Cellulose, lignin and chitin // *Radiation Physics and Chemistry*. 2011. 80(11). P. 1186–1194.

22. Toledano A., Serrano L., Labidi J. Organosolv lignin depolymerization with different base catalysts // *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 2012. Vol. 87. P. 1593–1599.

23. Yuan Z., Cheng S., Leitch M., Xu C. Hydrolytic degradation of alkaline lignin in hot-compressed water and ethanol // *Bioresour. Technol.* 2010. 101(23). P. 9308–9313.

Поступила 14.04.14

UDC 547.992.3

Solvolytic of Technical Lignin in Water and Alcohol Solutions of Sodium Hydroxide

*E.V. Ipatova*¹, *Postgraduate Student*

*S.M. Krutov*¹, *Candidate of Chemistry, Professor*

*I.V. Gribkov*², *Candidate of Chemistry, Director*

*Iu.N. Sazanov*³, *Doctor of Chemistry, Professor*

¹Saint Petersburg State Forest Technical University under name of S.M.Kirov, Institutskiy per., 5, Saint-Petersburg, 194021, Russia; e-mail: ftaorgchem@yandex.ru

²GCE Ecology, Bukharetskaya, 6, Saint-Petersburg, 192102, Russia; e-mail: ivan.gribkov@gmail.com

³Institute of Macromolecular Compounds of Russian Academy of Sciences, Bol'shoy pr., 31, Saint-Petersburg, 199004, Russia; e-mail: sazanov@hq.macro.ru

Hydrolysis lignin represents particular interest as a promising feedstock for the production of aromatic compounds for further organic synthesis. One of the lignin depolymerisation methods is its degradation with bases under appropriate conditions. This work is devoted to research the solvolysis of hydrolysis lignin in sodium hydroxide solution in different conditions. For research hydrolysis lignin was taken from Kirov Biochemical Plant. Air-dried lignin was sieved (~0.25 mm) and was grinded by a rotary-vortex mill (~5mkm). The influence of solvolysis conditions of technical hydrolysis lignin on the degradation extent was defined: alkali concentration (2-10%), duration of treatments (0,5-2,5h), hydromodule (1:10÷1:25), temperature (100-240°C) in aqueous and alcoholic solutions. To estimate the depth of lignin fragmentation degree in aqueous and alcohol environments lignin degradation products were analyzed by size-exclusion chromatography. The results showed that with increasing of treatment temperature increases content of low molecular weight compounds (oligomers). For structural changing determination of lignin samples during solvolysis process lignin degradation products were analyzed by solid state ¹³C nuclear magnetic resonance. Quantitative ratio of «C_{Ar-O}», «C_{Ar-C}», «C_{Ar-H}» clusters in initial hydrolysis lignin and lignin degradation products were defined in treatments at 200°C and 220°C. Amount increasing of carbon-carbon bonds in lignin with the increasing treatments temperature was shown. The studies found that most degree of hydrolysis lignin destruction achieved by us-

ing the following conditions: 5% NaOH, with a 2h treatments time, hydromodule 1÷20. Increasing of degradation degree was shown in the temperature range 180-240°C, the dissolution degree of lignin reached to 99%. In these conditions the degradation process of studied lignin samples was faster with an alcohol solution of sodium hydroxide comparatively with an aqueous solution.

Keywords: hydrolysis lignin, lignin degradation

REFERENCES

1. Andreev A.I., Selyanina S.B., Bogdanovich N.I. Sorbtionnyye svoystva listvennykh i khvoynnykh sulfatnykh ligninov [Sorption Properties of Hardwood and Softwood Sulfate Lignins]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2012, no. 2, pp. 33–39.
2. Gribkov I.V., Krutov S.M., Zarubin M.Ya. Izuchenie stroeniya i svoystv promyshlennykh gidroliznykh ligninov [The Structure and Properties of Industrial Hydrolysis Lignin]. *Izvestiya SPbGLTA*, 2007, no. 179, pp. 201–210.
3. Grushnikov O.P., Elkin V.V. *Dostizheniya i problemy khimii lignina* [Achievements and Problems in Lignin Chemistry]. Moscow, 1973. 296 p.
4. Domburg G.E. Perspektivy pirogeneticheskoy pererabotki gidroliznogo lignina [Perspectives of Hydrolysis Lignin Pyrogenetic Processing]. *Perspektivy ispol'zovaniya drevesiny v kachestve organicheskogo syr'ya* [Perspectives of Wood Using as Organic Feedstock]. Riga, 1982, pp. 134–151.
5. Evstigneev E.I. Okislenie gidroliznogo lignina peroksidom vodoroda v kisloy srede [Hydrolysis Lignin Oxidation with Hydrogen Peroxide in an Acidic Environment]. *Zhurnal prikladnoy khimii*, 2013, vol. 86, no. 2, pp. 278–285.
6. Zarubin M.Ya., Krutov S.M. Issledovanie tekhnicheskogo gidroliznogo lignina i produktov ego shchelochnoy destruktzii [Research of Technical Hydrolysis Lignin and Its Alkaline Destruction Products]. *Izvestiia SPbGLTA*, 2003, no. 179, pp. 222–228.
7. Kiryushina M.F., Fedulina T.G., Zarubin M.Ya. Kinetika shchelochnoy destruktzii preparatov lignina i lignin-uglevodnogo kompleksa v vodnykh rastvorakh vysokoosnovnykh organicheskikh rastvoriteley [The Kinetics of Alkaline Degradation Products of Lignin and Lignin-Carbohydrate Complex in Aqueous Solutions of Highly Basic Organic Solvents]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2009, no. 1, pp. 145–146.
8. Kovaleva V.V. *Okislitel'naya destruktziya lignina i lignotsellyuloznykh materialov pod deystviem ozona: diss. kand. khim. nauk* [Oxidative Degradation of Lignin and Lignocellulose Materials in the Ozone Medium: Cand.Chem.Sci.Diss.]. Moscow, 2000. 150 p.
9. Krutov S.M., Zarubin M.Ia., Sazanov Iu.N. *Ligniny* [Lignins]. Saint-Petersburg, 2011. 381 p.
10. Kulikov K.V., Litvinov V.V., Piyalkin, V.N., Zabelkin S.A., Bashkirov V.N. Poluchenie i issledovanie zhidkikh biotopliv iz biomassy dereva metodom piroliza [Preparation and Investigation of Liquid Biofuels from Biomass by Pyrolysis of Wood]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2012, no. 13, pp. 197–201.
11. Lakhmanov D.E., Habarov Yu.G., Popov V.A. Izuchenie depolimerizatsii gidroliznogo lignina azotnoy kislotoy v vodno-spirovoy srede [The Study of Hydrolysis Lignin Depolymerization of Nitric Acid in an Aqueous-Alcoholic sphere]. *Materialy V mezhdunarodnoy konferentsii «Fizikokhimiya rastitel'nykh polimerov* [Physics and Chemistry of Bioorganic Polymers: Proc.V'th Int.Conf.]. 2013, pp. 145–146.

12. Sazanov Yu.N. Potentsial'naya aktivnost' gidroliznogo lignina v reaktsiyakh sopolimerizatsii [Potential Activity of Hydrolysis Lignin in Copolymerization Reactions]. *Zhurnal prikladnoy khimii*, 2009, vol. 82, no. 9, pp. 1493–1499.
13. Sumerskiy I.V., Krutov S.M., Pranovich A.V., Zarubin M.Ia. Issledovanie gidroliznykh ligninov metodom DFRC [Investigation of Hydrolyzed Lignin by Method of DFRC]. *Lesnoy zhurnal*, 2010, no. 2, pp. 141–146.
14. Chudakov M.I. *Promyshlennoe ispol'zovanie lignina* [Industrial Use of Lignin]. Moscow, 1983. 127 p.
15. Hatakeyama H, Tsujimoto Y., Zarubin M.Ia., Krutov S.M. Thermal decomposition and glass transition of industrial hydrolysis lignin. *J. Therm. Anal. Calorim.*, 2010, 101, pp. 289–295.
16. Ipatova E.V., Evtuguin D.V., Krutov S.M., Santos S.A.O., Sazanov Yu.N. Modification of hydrolysis lignin for valuable applications. *Proceedings of 13 EWLP*, 2014, pp. 431–434.
17. Matsumoto Y., Ishizu A., Nakano J. Studies on chemical structure of lignin by ozonation. *Holzforschung*, 1986, vol. 40, pp. 81–85.
18. Mu W., Ben H., Ragauskas A., Deng Y. Lignin Pyrolysis Components and Upgrading–Technology Review. *BioEnergy Research. Springer US*, 2013, vol. 6, iss. 4, pp. 1183–1204.
19. Navarro D., Couturier M., gaSilva G.G.D., Berrin J.G., Rouan X., Asther M., Bignon C. Automated assay for screening the enzymatic release of reducing sugars from micronized biomass. *Microbial Cell Factories*, 2010, no. 9, pp. 58–60.
20. Nenkova S., Vasileva T., Stanulov K. Production of phenol compounds by alkaline treatment of technical hydrolysis lignin and wood biomass. *Chemistry of Natural Compounds*, 2008, vol. 44, iss. 2. 182 p.
21. Ponomarev A.V., Kholodkova E.M., Metreveli A.K. Phase distribution of products of radiation and post-radiation distillation of biopolymers: Cellulose, lignin and chitin. *Radiation Physics and Chemistry*, 2011, no. 80(11), pp. 1186–1194.
22. Toledano A., Serrano L., Labidi J. Organosolv lignin depolymerization with different base catalysts. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 2012, vol. 87, pp. 1593–1599.
23. Yuan Z., Cheng S., Leitch M., Xu C. Hydrolytic degradation of alkaline lignin in hot-compressed water and ethanol. *Bioresour.Technol*, 2010, 101(23), pp. 9308–9313.

Received on April 14, 2014



УДК 634.0.5

**ТОВАРНЫЕ ТАБЛИЦЫ ДЛЯ ТАКСАЦИИ ЛИСТВЕННИЧНЫХ
ДРЕВОСТОЕВ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ
МЕТОДОМ КРУГОВЫХ РЕЛАСКОПИЧЕСКИХ ПЛОЩАДОК**

© *С.В. Третьяков, д-р с-х наук, доц.*

С.В. Коптев, канд. с-х наук, доц.

А.П. Богданов, асп.

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: s.v.tretyakov@narfu.ru

В таксации лесов при лесоустройстве, государственной инвентаризации лесов, в других лесоучетных и экспериментальных работах все чаще используют дистанционные методы определения таксационных параметров, которые значительно снижают затраты труда и времени, позволяют использовать современные технологии, инструменты и приборы. Одним из наиболее популярных в последнее время становится метод круговых реласкопических площадок. Он позволяет с достаточно высокой точностью и без проведения перече́та деревьев по толщине определить суммы площадей сечений деревьев в пересчете на 1 га. Запас древостоев определяется путем использования закономерных связей полученной суммы площадей сечений с формой ствола, характеризующейся видовым числом и средней высотой. Запас при таксации разделяется на деловую и дровяную части. Точность распределения полученного запаса деловой древесины на сортименты или категории крупности полностью зависит от таксационных нормативов, с помощью которых это распределение выполняется. Разница при определении выхода отдельных сортиментов (категорий крупности) для разных рядов высот достигает 5 %. Предложено ввести в нормативы, кроме среднего диаметра, дополнительный параметр – среднюю высоту. Наши таблицы построены на основе региональных сортиментных таблиц и рядов распределений числа деловых деревьев по ступеням толщины, они существенно повысят точность таксации лиственничных древостоев методом круговых реласкопических площадок. Таблицы предлагается использовать в практической таксации при подготовке лесосечного фонда как для прогнозов, так и для оценки товарности отдельных древостоев в северо-восточном лесотаксационном районе.

Ключевые слова: товарные таблицы, сортименты, ряды распределения, круговые реласкопические площадки, таксация леса, лиственничные древостои.

Важной задачей современного развития наук о лесе является разработка зональных нормативов, направленных на повышение точности учета лесных ресурсов, что связано в первую очередь с удовлетворением потребностей населения и лесопромышленного комплекса в древесине различных пород

и различного качества. Организация, планирование и ведение лесного хозяйства и лесопользования в лиственных насаждениях невозможны без наличия полных и достоверных данных, характеризующих их состояние, продуктивность и устойчивость к условиям внешней среды, техногенным и антропогенным воздействиям. В настоящее время ощущается острая необходимость в разработке нормативных материалов для использования и воспроизводства лиственных древостоев на Европейском Севере России.

Метод круговых реласкопических площадок получил широкое распространение при таксации лесосечного фонда. Наставлением по отводу и таксации лесосек [4] предполагается прорубка ходовых линий и закрепление кольями центров круговых площадок. Зная количество круговых площадок на выдел и протяженность граничных линий и планируемых внутренних визиров, можно заранее рассчитать расстояние полных и половинных (на границе) круговых площадок. При установлении места размещения круговых площадок внутренние визиры предлагается не прорубать, а пользоваться навигационными приборами, применение которых допускается действующими Правилами заготовки древесины [5]. Фиксировать центры круговых площадок рекомендуется не только кольшками, но и определять приборами, а также записывать их координаты.

Этот метод предполагает также и разработку специальных нормативов. Для лиственницы, произрастающей на Европейском Севере России, отсутствуют нормативы применительно к данному методу.

В соответствии с программой исследований нами собраны и обработаны экспериментальные данные, получены нормативы для определения выхода сортиментов в лиственных насаждениях северо-восточного лесотаксационного района. Полученные товарные таблицы для таксации деловой части лиственных древостоев методом круговых реласкопических площадок (см. таблицу) разработаны на основе новых сортиментных таблиц и рядов распределения с применением современных методических подходов [1] для среднетаежного лесотаксационного подрайона.

Разделение деревьев по категориям технической годности (деловые, полуделовые и дровяные) производится на круговых площадках без закладки узких лент перечета. На круговых площадках измеряются диаметры и высоты у одного или нескольких деревьев для определения средних показателей. В отличие от нормативов, действующих в настоящее время [2, 3], предлагается для повышения точности таксации разделять древостои, отнесенные к разным средним диаметрам, дополнительно по разрядам высот. Дровяная часть древостоя при данном методе таксации учитывается отдельно и относится к дровяной древесине. Возможность получения из дровяных деревьев деловых сортиментов, технологического сырья и дров является отдельным вопросом и больше связана с технологическими возможностями деревообрабатывающих предприятий.

Товарные таблицы для таксации лиственных древостоев
методом круговых реласкопических площадок (деловая древесина)

Средний диаметр древостоя, см	Средняя высота древостоя, м	Деловая древесина, %				Дрова, %		Отходы, %
		крупная	средняя	мелкая	Итого	Сырье для технологической переработки	Дрова топливные	
20	17	3	49	33	85	2	2	11
	19	3	53	30	86	2	1	11
	21	3	56	28	87	1	1	11
22	23	3	59	24	87	1	1	11
	18	7	51	27	86	2	1	11
	20	7	54	25	86	2	1	11
24	22	8	57	22	87	2	1	10
	25	8	60	20	88	1	1	10
	20	8	51	27	86	2	1	11
26	22	9	53	24	86	2	1	11
	24	10	55	22	87	1	1	11
	26	10	58	20	88	1	1	10
28	30	10	50	26	86	2	1	11
	23	11	52	23	86	2	1	11
	25	11	55	21	87	2	1	10
30	27	12	58	18	88	1	1	10
	21	18	47	21	86	2	1	11
	24	19	49	19	87	2	1	10
32	26	20	51	17	88	1	1	10
	29	21	53	14	88	1	1	10
	22	25	43	18	86	2	1	11
34	25	27	44	16	87	2	1	10
	27	29	46	13	88	1	1	10
	23	33	39	15	87	2	1	10
36	25	34	41	13	88	1	1	10
	27	35	41	12	88	1	1	10
	31	36	42	10	89	1	1	10
38	24	31	40	16	87	2	1	10
	26	32	41	14	87	2	1	10
	27	33	42	13	88	1	1	10
38	32	34	43	11	88	1	1	10
	26	35	38	14	87	2	1	10
	26	36	39	13	88	1	1	10
38	29	37	39	12	88	1	1	10
	33	39	40	10	89	1	1	9
	24	42	33	12	87	2	1	10
38	27	44	33	11	88	1	1	10
	33	45	33	10	88	1	1	10
38	33	47	34	8	89	1	1	9

Предлагаемые нормативы позволят повысить точность таксации насаждений лиственницы на Европейском Севере с использованием метода круговых реласкопических площадок, который при соответствующей подготовке исполнителей обеспечивает хорошие результаты при сравнительно небольших трудозатратах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусев И.И., Контев С.В. Товарные таблицы северотаежных ельников // Лесн. журн. 1991. № 4. С. 3–11. (Изв. высш. учеб. заведений).
2. Калинин В.И. Лиственница Европейского Севера. М.: Лесн. пром-сть, 1965. 90 с.
3. Лесотаксационный справочник по северо-востоку Европейской части РФ: (нормативные материалы для Ненецкого автономного округа, Архангельской, Вологодской области и республики Коми) / Федеральное агентство лесного хозяйства, ФБУ «Сев. науч.-исслед. ин-т лесн. хоз-ва», [сост.: канд. с.-х. наук Войнов Г.С. и др]. Архангельск.: Правда Севера, 2012. 672 с.
4. Наставление по отводу и таксации лесосек в лесах РФ: издано Федеральной службой лесного хозяйства России. М., 1993. 72 с.
5. Об утверждении Правил заготовки древесины. приказ МПР России от 16.07.2007 № 184. Режим доступа: [htt: // www. rosleshoz.gov.ru](http://www.rosleshoz.gov.ru) (дата обращения 25.03.2012).

Поступила 03.12.14

UDC 630*5

Commodity Norm for Evaluation of Larch Stands in the Arkhangelsk Region by the Method of Relascop Spots

S.V. Tretyakov, Doctor of Agriculture, Associate Professor

S.V. Koptev, Candidate of Agriculture, Associate Professor

A.P. Bogdanov, Postgraduate Student

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russia; e-mail: s.v.tretyakov@narfu.ru

Forests management valuation, national forest inventory, other forest measurements and experimental work are increasingly being used the remote methods of the taxation parameters determining in their arsenal. These methods significantly reduce labor costs and time, allow the use the modern technologies, tools and devices. One of the most popular methods has recently become the method of circular relascop sites. It allows to determine the sum of the tree squares with high accuracy without the need for trees thickness measuring in terms of 1 hectare. The growing stock is obtained by the use of logical relations of tree squares sum with the tree form, characterized in tree form parameter and average height. Growing stock is divided into business and the firewood parts. The accuracy of the stock distribution on assortments or size categories depends entirely on taxation norms by which this distribution is performed. The difference in the definition of separate assortments (size category) for different heights is up to 5%. Therefore, we propose to introduce in the norms, in addition to the average diameter the additional parameter - the average height. The proposed norms

is constructed on the basis of regional assortment tables and business trees distributions on thickness. This will significantly improve the accuracy of larch stands valuation by relascope circular sites. The table is offered to use in practical valuation at forest fund preparation as for predictions, and to assess the marketability of separate forest stands in the North-Eastern forest region.

Keywords: commodity table, assortments, distribution series, circular relascope sites, forests valuation, larch stands.

REFERENCES

1. Gusev I.I., Koptev S.C. Tovarnye tablitsy severotaezhnykh el'nikov [Commodity Tables for Spruce Forests of the Northern Taiga]. *Lesnoy zhurnal*, 1991, no. 4, pp. 3–11.
2. Kalinin V.I. *Listvennitsa Evropeyskogo Severa* [Larch of European North]. Moscow, 1965. 90 p.
3. *Lesotaksatsionnyy spravochnik po severo-vostoku Evropeyskoy chasti RF: (normativnye materialy dlya Nenetskogo avtonomnogo okruga, Arkhangel'skoy, Vologodskoy oblasti i respubliky Komi)* [Forest Guide to the North-East of European part of Russian Federation: (Normative Materials for the Nenets Autonomous District, the Arkhangelsk, Vologda Region and Komi Republic)]. Arkhangelsk, 2012. 672 p.
4. *Nastavlenie po otvodu i taksatsii lesesek v lesakh RF* [Instruction on Allocation and Taxation of Forest Sites in the Forests of the Russian Federation]. Published by the Federal forestry service of Russia. Moscow, 1993. 72 p.
5. *Ob utverzhdenii Pravil zagotovki drevesiny* [Approval of Timber Harvesting Regulations]. The order of RF Ministry of Natural Resources, 16.07.2007, no. 184. Available at: <http://www.rosleshoz.gov.ru> (accessed on 25.03.2012).

Received on December 3, 2014



ИСТОРИЯ НАУКИ

УДК 630*902

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ОРГАНИЗАЦИИ И ТЕХНОЛОГИЙ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА В РОССИИ XVIII В.

© *Е.М. Лупанова, канд. ист. наук, ст. науч. сотр.*

Музей антропологии и этнографии имени Петра Великого (Кунсткамера) РАН,
Университетская наб., 3, г. С.-Петербург, Россия, 199034; e-mail: lupanova@eu.spb.ru

XVIII в. – время становления лесного хозяйства в России. Организация и технологии, заложенные при Петре I и в целом сформировавшиеся к 1730-м гг., претерпели несущественные изменения в последующие десятилетия и во многом сохранились до Великих реформ, некоторые – вплоть до позднего советского времени. Длительность существования сложившихся тогда практик, их влияние на последующее развитие лесного хозяйства в нашей стране обуславливают важность изучения данного вопроса. В статье рассмотрены процессы становления системы административного контроля за лесами, начало формирования узкопрофессиональных групп специалистов по лесному хозяйству (форстмейстеры – ученые, вальдмейстеры – чиновники, стражи – ответственные на местах крестьяне, облазчики – формировавшие форму ствола в процессе роста дерева, лашманы – профессиональные лесозаготовители), первые опыты лесопосадок, поиск деревьев, годных для нужд Адмиралтейства, обработка деревьев на корню, инструменты, способы переправки древесины. На всех стадиях работы были сопряжены с тяжелым физическим трудом многих людей. Особое внимание уделено проблеме внедрения пил на российских лесозаготовках. Этот процесс виделся в XVIII в. важным средством сбережения природных ресурсов и модернизации. Однако, не взирая на усилия правительства, это новшество входило в обиход с большим трудом, как непривычное и более сложное в использовании. На основе впервые вводимых в научный оборот архивных документов рассмотрены также проблемы других несоответствий между предписаниями и жизненными реалиями, проблемы безхозяйственного отношения к материалам в быту и во время заготовок. К числу характерных устойчивых черт лесного хозяйства в том виде, в каком оно сформировалось в XVIII в., следует отнести высокую роль физического труда при низкой степени механизации, консервативность технологий, предпочтение простым и дешевым способам заготовки и транспортировки материалов.

Ключевые слова: история России, XVIII в., технологии лесного хозяйства, топор, пила, пильные мельницы, лесосплав, организация работ по заготовке лесоматериалов.

Историография

В последние десятилетия экологическая история стала модным направлением развития мировой историографии. История взаимоотношений человека и природы привлекает к себе внимание исследователей всего мира – не

только историков, но также биологов, экологов и других специалистов, которые, сталкиваясь с острейшими проблемами современной жизни, пытаются найти ключ к поиску ответов в изучении прошлого.

Активизация интереса к истории лесного хозяйства является частью данного процесса. Изучается законодательство, история учреждений и ведомств, опыт описаний и картографирования, процессы изменения флоры и фауны, государственной охраны лесов и помещичьего лесного хозяйства и др. Интерес к таким исследованиям обоснован высокой степенью актуальности проблем современной экологии, высоком значении леса как с экономической, так и символической точки зрения. Традиционно образ России связывался с бескрайними лесными просторами. Древесина была базовым материалом, из которого делалось все, начиная от ложек и плошек, заканчивая крестьянскими избами и барскими хоромами.

Традиционно осознание человеком опасности истощения флоры и фауны, формирование экологии как особой отрасли знаний, относится ко второй половине XIX в. [67]. Однако при более пристальном изучении этого вопроса оказывается, что он уходит корнями в первую половину XIX в., в XVIII столетие и даже в более ранний период, когда в Великобритании и немецких государствах стал ощущаться дефицит древесины вследствие нерационального использования природных ресурсов. Проблема решалась за счет импорта русской древесины. Не имея в достаточном количестве собственного сырья, европейцы стали задумываться о том, как можно изменить ситуацию путем возобновления лесов и рационального их использования. Уже в XVIII-XIX в. немецкий опыт по праву был признан передовым и наиболее прогрессивным. Другие страны шли по пути импорта идей утилитарного учета, восстановления и разведения леса. Новаторство немецких естествоиспытателей XVIII в. и по сей день приковывает внимание историков к процессам выработки базовых понятий, разработке основных методов хозяйствования и многим другим проблемам лесоводства [65]. Так как немецкие и английские государственные деятели и ученые впервые поставили лесоводство на научную основу, занялись исследованиями и практической реализацией новых методов хозяйствования традиционен и высокий интерес к прусско-саксонскому опыту в историографии.

Автор монографии, посвященной отношению человека к лесам Британии, показывает, как изменению взгляда англичан на леса способствовало не только экономическое развитие страны, но и мода на эстетику дикой природы; подчеркивает роль философов Раннего нового времени и эпохи Просвещения в становлении экологической мысли [68].

Изучались различные аспекты истории лесного хозяйства и на российских материалах.

К выводам, аналогичным выводам К. Томаса, пришел на основе русских источников еще в 1917 г. И.И. Яценко, рассмотревший в своей небольшой статье значение эстетики в эволюции отношений человека с лесом. Статья

посвящена в основном актуальным проблемам современности, но при этом подчеркивается роль художников и писателей в идеологии охраны лесов в прошлом и настоящем: «...художники первые забили тревогу по поводу гибели наших пейзажей» [64].

Определенного внимания удостоился процесс развития законодательства. Традиции русской государственной школы историографии [1, 4, 5, 34, 45, 60], заложенные в XIX в., получили развитие в советской и постсоветской историографии. По сей день большое внимание уделяется изучению охраны лесов в рамках изучения права [3, 6, 9, 13, 28, 29, 59].

Внимание историков привлекала также история специального образования [8, 17, 43, 49].

В советское время появляется и более узкий интерес к истории лесного хозяйства, выходит ряд работ по этой теме. Интерес к этому вопросу был спровоцирован масштабными планами советского правительства по преобразованию природы и изменению климата ряда регионов. Определенным стимулом активизации исследований в СССР стала круглая дата с момента издания «Лесостроительной инструкции» (1845 г.), которую в литературе того времени характеризовали как «положившую начало русскому лесоводству». Ей предшествовали «Инструкция обер-вальдмейстеру П.С. Глебовскому» (1722 г.) и «Инструкция о разведении и посеве корабельных лесов» (1732 г.)¹ Начало преобразований в сфере лесного хозяйства искали в прошлом не только историки, но также географы, биологи и другие специалисты, участвовавшие в разработке конкретных мероприятий. Историю лесоохраны в России было принято начинать с XIV-XV вв. – с появления засечных черт и грамот на пользование лесными угодьями. Такая неоправданная связь любого упоминания о лесе в законодательстве с историей лесного хозяйства была частью общей идеологии, в рамках которой было принято доказывать древность традиций, их долгую историю, первенство русских в различных достижениях культуры и науки. Несмотря на подобного рода подоплеку и связанные с нею различные натяжки, советская наука решала серьезные задачи в частности, и по изучению лесоохраны. В послевоенные годы были переизданы с подробными научными комментариями труды А.Т. Болотова [2]. Отдельные статьи были посвящены другим пионерам в области лесного хозяйства, авторам работ, которые стали классическими – П.И. Рычкову и А.А. Нартову [10, 27]. Вышли работы по истории лесного хозяйства [24, 31, 37, 51]. В современной историографии эта линия продолжена работами М.Д. Мерзленко и Н.А. Бабича [25].

Итогом многих исследований, появившихся на волне интереса к теме истории лесоохраны в послевоенном СССР, стали работы М.А. Цветкова, в которых на основе многочисленных и разнообразных источников раскрыты вопросы изменения состояния русских лесов на протяжении всего имперского

¹ Инструкция о разведении и посеве корабельных лесов. 20 апр. 1732 г. // ПСЗ I. Т. VIII. № 6 0327.

периода [56]. Классическим сегодня можно считать его труд «Изменение лесистости Европейской России», объединивший скрупулезно собранные статистические материалы, работу с картографическими источниками, законодательством, теоретическими работами по различным проблемам охраны и разведения лесов, сведения о проводившихся практических мероприятиях и многие другие материалы в цельное исследование. В итоге А.М. Цветков делает важные выводы о том, что с конца XVII в. до 1914 г. Европейская Россия потеряла без малого треть своих лесов, ее лесистость снизилась с 52,7 % в 1696 г. до 35,2 % в 1914 г. Такова среднестатистическая картина. В отдельно взятых регионах масштабы утрат были различными: намного значительнее на юге, ниже – на севере страны. В качестве главной причины сокращения лесных массивов он называет увеличение количества сельского населения и расчистку новых пашен за счет лесов, большую выгоду сельского хозяйства по сравнению с лесоразведением, коммерческие интересы промышленников и купцов. Предметом пристального внимания исследователя также стали лесопосадки. Период энтузиазма в этой области на юге страны он соотносит с концом XVIII – началом XIX вв., когда ставилась глобальная задача уменьшения вредного влияния южного степного климата на крестьянское хозяйство. Посадки велись постепенно затухающими темпами, вновь оживились в 1870–1880-е гг. и затем вновь прекратились. Всего в течение двух веков было посажено 1,3 млн га лесов, уничтожено 67,0 млн га, т. е. восстановлено не более 2 % [55].

Таким образом, празднование юбилея «первой» «Лесоустроительной инструкции» в послевоенном СССР стало мощным стимулом для развития историографии. Того же не произошло в 1980 г., когда было предложено отметить круглую дату – 150 лет со дня появления другой «первой» «Лесоустроительной инструкции» – 1830 г. Предложение не нашло резонанса и было отмечено лишь небольшой заметкой в специальном издании [30]. Несмотря на активное обсуждение проблем экологии в последнее десятилетие существования СССР, историки сравнительно мало обращались к этой теме. Новая волна интереса к проблеме связана с 1990–2000-е гг.

Активная разработка социально-экономических проблем в советской историографии также оказала определенное влияние на разработку темы. Экономист, специалист по плановому хозяйству А.Е. Пробст на основе документов ЦГАДА (Центральный государственный архив древних актов, современное название – Российский государственный архив древних актов (Москва)) опубликовал работу, посвященную топливной проблеме в России петровского времени, и пришел к выводу о том, что именно Петр I впервые осознал лес как один из важнейших элементов богатства и благосостояния страны. Этой основной идеей проникнута его политика, так или иначе касающаяся этой сферы. Автор настаивает на том, что цели лесоохранной политики царя-преобразователя не ограничивались узкими задачами обеспечения верфей. Важно также и то, как последовательно А.Е. Пробст доказывает, что становление лесоохранной политики было делом личной инициативы и творчества царя, а не кого-то

из его приближенных. Проблема деятельности Петра I в плане создания системы контроля, изучения, рационального использования и возобновления лесов заключалась в том, что идеи царя-реформатора, опередив время, оказались непрочными и недолговечными [38].

Важное место в современной историографии занимают работы Г.И. Редько – замечательного общественного деятеля, одного из ведущих современных специалистов по лесному хозяйству и его истории. Его исторические работы посвящены основателю русского лесоводства Ф.Г. Фокелю. Исследователем поднят большой пласт архивных документов, связанных с биографией и творчеством Ф.Г. Фокеля, осуществлено переиздание «Собрания лесной науки» [40, 41, 54].

Ряд современных исследований посвящен региональным проблемам истории лесосохраны в различные периоды истории России. Особенно активно в этом направлении работают сибирские исследователи [14, 18, 19, 36, 52, 61]. Работы сотрудников С.-Петербургского филиала Института истории естествознания и техники РАН освещают разработку научных проблем и становление опытного хозяйства в области лесоводства XIX в. [21, 22].

Постановка проблемы

Несмотря на большой интерес к экологической истории среди современных исследователей и имеющийся опыт исследования проблемы, XVIII в. остается наименее изученным. При довольно хорошо изученной законодательной базе, опыте картографирования, вкладе выдающихся личностей в становление экологической мысли до сих пор оставались в тени технологии лесного хозяйства.

Лесное хозяйство в XVIII в. рассматривалось в неразрывной связи с охраной заповедных территорий и заготовлением материалов на нужды Адмиралтейства. Яркой иллюстрацией этого является текст договора с тремя специалистами по лесному хозяйству, приглашенных для работы в Россию из немецких земель. Их обязанности не ограничивались тем, чтобы леса «от всякого вреда, тако ж от гнилости и протчих повреждений охранять неотменно». Важной их задачей была также подготовка и организация лесозаготовок для нужд Адмиралтейств-коллегии: «осмотреть места и вовремя к размножению и заготовлению лесов удобные к лутчей службе, а именно вся помянутым рекам надлежащая к заготовлению на корени леса в которых местах на что угодны найдитца могут и довольно ль число и какия потребу порознь годны и в которых местах натурою и крепостию других превосходят и каким образом заготавливать способнее и к пристаням вывозить и сплавлять безубыточнее».² Разведение деревьев логически связано с заготовлением и доставкой. Охрана, разведение, заготовление и доставка в сознании автора документа неразрывно связаны. Лесное хозяйство, таким образом, оказывается особым родом земледелия. Перед форстместерами – учеными, специалистами в области лесного

² Контракт 14 июля 1727 г. // РГА ВМФ. Ф.138. Оп. 1. Д. 301. О принятии мер по охране дубового леса в Казанской губернии. Л. 12-об.-14-об.

хозяйства, не стоит задача сбережения лесов как объекта природы. Их цель – отбор тех пород деревьев, которые представляют ценность для нужд кораблестроения, их разведение, уход за ними, обеспечивающий оптимальную форму (производилась подчистка деревьев, в ходе которой удалялись сучки и ветки; в результате деревья вырастали прямыми и высокими). Прочие же растения, не представляющие с государственной точки зрения хозяйственной ценности, охране не подлежали.

В обязанности форstmестеров и вальдмейстеров (чиновники, ответственные за охрану лесов и заготовку материалов для кораблестроения) входил поиск мест, удобных для лесопосадок, заготовка семян «доброе качество» в осеннее время, хранение их «в удобном месте, где б безмерной стужи или теплоты не было, тако ж беречь от великой мокроты и сухости, дабы оные не могли гнить или прежде времени вырастать, а во время лежания по вся недели дважды или трижды перемешивать дондеже весна восстанет». Затем следовало начать проращивание семян и высадить в заранее подготовленную почву.³

Лесное хозяйство, формировавшееся в XVIII в., было чрезвычайно трудоемким и требовало участия многих людей. Уже в петровское время появляются не только форstmестеры и вальдмейстеры, но и ответственные на местах стражи из числа крестьян; рабочие, специализирующиеся на лесозаготовках.

Лесопосадки

Первые опыты искусственных лесопосадок были предприняты еще в начале правления Петра I. В 1696 г., в ходе подготовки Второго азовского похода, в урочище Большая Черепаха, близ Таганрога, были организованы посадки. Несмотря на то, что территория была захвачена и находилась под турецкой властью более 20 лет, а деревья вырубались, в степи появилась роща «Дубки», описывавшаяся писателями XIX в. [55]. Это был первый опыт лесопосадок в России, лесопосадок для нужд кораблестроения, и одновременно первый опыт лесоразведения в степной полосе [51]. По Петергофской дороге Петр I засадил дубками участок длиной 200 м. В течение 1720 г. он приказал астраханскому губернатору «при Астрахани и в других местах, где степи, сеять дубовые желуди для лесов таким образом, как заводят леса в Европе». Владельцам земель в губерниях и провинциях, где лесов было мало или совсем не было поручалось сажать в своих дачах дубовые, кленовые, липовые и другие деревья [59].

Вскоре после первого опыта лесопосадок по инициативе царя появилась также дубовая роща недалеко от Сестрорецка. Во Владимирской губернии Петром была посажена дубовая роща на границе Юрьевского и Переяславского уездов [12]. Впоследствии данная практика получила развитие. Особые ордера стали выдаваться на разведение лесных и плодовых деревьев запорожским казакам. Попытки лесоразведения были предприняты в Новороссийском крае [51].

³ Инструкция о разведении и посеве корабельных лесов...

Эти небольшие опыты не могли компенсировать урон, причинявшийся реализацией грандиозных замыслов Петра I по строительству мощного морского флота, и приглашенные в 1727 г. немецкие «лесные знатели» должны были приложить массу усилий для расширения территорий посадок.

Самым крупным и значительным, с исторической точки зрения, является основание Линдуловской роши. В 1737 г. все леса в Выборгском уезде, кроме приписанных к Сестрорецким заводам, были переданы «в смотрение Адмиралтейской коллегии».⁴ На место был отправлен форстмейстер Ф.Г. Фокель, занявшийся лесопосадками на месте, определенном под эти нужды еще Петром I. Роша получила название от протекавшей здесь речки Линтуловки. Ф.Г. Фокель высеял там семена лиственницы. За первым участком лесопосадок потом закрепилось название Бестолкового вследствие неполноты насаждений, хаотичной вырубки и вывалки деревьев ветром. Площадь его была небольшой – 1,9 га, но впоследствии роша продолжала оставаться под пристальным вниманием Адмиралтейства и расширяться. Второй этап посадок относится к 1740–1773 гг. В период екатерининского правления, когда надзор за лесами был ослаблен, по поводу Выборгского уезда будет принято решения посылать туда «через три года форшмейстеров со служителями» для подчисток и посадки новых деревьев. В 1781 г. эту работу выполнял И. Селиванов⁵ – один из учеников Я. Фалентина. Одновременно он составил карту [66]. К 1839 г. Линдуловская роша занимала уже площадь более 113 га. До сегодняшнего дня Линдуловская роша является уникальным памятником истории лесного хозяйства в России [23, 42]. Этот старейший (1856 г.) лесной заповедник в нашей стране находится под охраной ЮНЕСКО. На его территории сохранилось около 4 000 старых деревьев высотой 38...42 м.

Удобными для лесопосадок местами могли быть признаны территории дикого леса. Перед началом работ лес уничтожали, потом на его месте сажали деревья, представлявшие большую ценность с хозяйственной точки зрения. Пример такого хозяйствования находим в Казанской губернии: «...а сеять желутки надлежит в сентябре м-це и тому надобно 30 подвод и сеялок и сохами и с боронами, а лес выкоренять почать с весны, когда снег сойдет».⁶ Посадки должны были производиться не слишком редкими, не слишком частыми, «дабы от частости леса не заглушались, а от редкости острыми ветрами, когда еще во младости, не ломались».⁷ Посадки и дикий лес было необходимо охранять и содержать в порядке, периодически пересаживать деревья, производить

⁴ Выписка из указа о передаче Выборгских лесов под надзор Адмиралтейств-коллегии. 31 мая 1737 г. // РГИА. Ф.1594. Оп. 1. Д. 3. Л. 79-об.

⁵ В экспедиции интендантской по интендантскому департаменту выписано // Там же. Л. 80.

⁶ Фалентин Я., Зелгер М. В Казанскую лесную кантору [с Кушниковской пристани]. Рапорт. 23 марта 1731 г. // РГА ВМФ. Ф. 138. Оп. 1. Д. 1. О разведении лесов в Казанской губернии. Л. 26.

⁷ Инструкция о разведении и посеве корабельных лесов...

подчистки. Подчистка леса заключалась в обрезке нижних сучьев у дубовых деревьев скребками (косарями) или крючьями, насаженными на древко и вырубке всех деревьев других пород и кустарников вокруг дубовых деревьев из расчета 1 дерево дуба на 4 квадратных сажени (18,2 м²) [63]. Впоследствии русское лесное хозяйство отказалось от таких подчисток. В нашей стране они не применяются уже несколько десятилетий, в то время как в современной Финляндии активно используются для выращивания высокосортного пиловочника.

Заготовка материалов для верфей

Особые работы велись по поиску деревьев подходящей для строительства кораблей формы – безупречно стройных мачтовых сосен или изогнутого дуба на шпангоуты. Разрабатывались способы обрубания сучьев или создания нагрузки на ствол для выращивания деревьев оптимальной формы.

В Казанской губернии существовала особая специализация «облазчиков» – людей, которые обрубали сучья и ветви для выращивания дуба такой формы, которая будет наиболее удобной для судостроения. Труд их описывается как требующий особой квалификации, трудный и опасный: «...в указанном адмиралтействе облазикам хотя и учинился ныне тридцать пять человек, токмо из них умеющих и здоровых которые з дерев не падали толко с половиною, а протчие облаживать не умеют и з дерев падали и от того стали немощные и нездоровы, а другие несколько человек от лазки... и до смерти убивались... А о кроме обученных другими людьми того исправить невозможно».⁸ Обрубить ветви и сучья также требовалось перед валкой дерева как для безопасности процесса, так и с целью сбережения ствола.

Вырубка и вывоз деревьев к верфям и портам были длительными и трудоемкими процессами. Практически целиком он ложился тяжким бременем повинности на крестьянские общины. Попытки привлечь вольнонаемных рабочих были обречены. С одной стороны, количество людей, которые могли стать вольнонаемными рабочими был ограничен, с другой, государство не имело большого кредита доверия при заключении подрядов. В протоколе Адмиралтейств-коллегии 20 ноября 1763 г. записано: «не пожелает ли кто... корабельные леса как рубить, так и на пристани возить по целому кораблю... и по какой цене за какой ранг требовать будут о том в комиссию репортовать...». Через год в очередном протоколе читаем: «...никого в кантору охочих людей не явилось... И кто явится тех обнадежить, что по договору денги

⁸ В Государственную адмиралтейскую коллегию по экспедиции над верфями и строениями ис казанской адмиралтейской канторы репорт о получении приказа и о протчем. 13 июня 1743 г. // РГА ВМФ. Ф. 138. Оп. 1. Д. 167. Об испытании нового способа заготовки дубового леса путем снятия коры с дерева за полтора года до сруба и заготовке этим способом в Казанской губернии дуба для постройки 4-х пакетботов в Петербургском адмиралтействе. 1743–1752 гг. Л. 15.

выданы будут без удержания и при том обид и притеснения чинено не будет и по силе онаго..., но токмо по тем публикам и поныне никого в кантору охочих людей не явилось...».⁹

Инструменты лесозаготовителей XVIII в.

Наиболее широко используемым инструментом лесозаготовок являлся топор. Валка каждого дерева требовала особых навыков и больших усилий. Для нужд кораблестроения, на продажу наиболее ценными были крупные деревья. Соответственно, трудоемким был процесс их валки, необходимо было соблюдать меры предосторожности, чтобы массивный ствол упал в нужном направлении, никого не задавил, не повредил соседние деревья.

Топор являлся инструментом, уже запрещенным для изготовления досок в Швеции того же времени.¹⁰ Петр I пытался запретить использование топорных досок и в России [59]. Уже при создании кумпанств для Азовской флотилии он распорядился «лес вдоль и поперек тереть пилами», суда из тесанного леса не принимать, а с построивших таковые брать штраф. Для внедрения современных технологий судостроения думному дьяку Е.И. Украинцеву было поручено закупить за границей «где пристойно, пил разных рук, какими деревья растирают: 28 кранпилы, что стоячи трут, длиной по полтрети аршина, 28 трен-пилы, что сидючи трут... всего 256 пил» [38, с. 241].

В источнике первой половины XIX в. описана традиционная на Русском Севере организация лесозаготовительных работ, обнаруженном авторским коллективом книги «Беломорская тайга: вчера, сегодня, завтра» [15]. Заготовки велись ранней зимой, при достаточно глубоком снеге. Из окрестных деревень с осени формировали артель, мужики собирали нехитрые припасы и отправлялись в заповедную рощу, где для них стояла изба. Унтер-офицер Адмиралтейства указывал корабельное дерево. Иногда начинали с подготовки просеки, иногда готовили ее параллельно с рубкой корабельных деревьев. Мелкие деревья рубили под корень, без пней, чтобы они не мешали протаскиванию бревна или проходу «колодок» – особо прочных саней для перевоза бревен. Срубленные деревья сразу разделявали на кругляши. Их укладывали поперек пути, по ним потом будут потом катить бревно к реке. Когда путь был готов, собирались у двухобхватного дерева, разгребали и обтапывали снег вокруг, выбирали направление падения. Рубили его сначала в четыре топора, потом в два, отдыхали раза три и после последней передышки, когда между пнем и стволом оставалась узкая перемычка толщиной с ладонь, к нему подходил

⁹ Переписка комиссии с Казанской Адмиралтейской конторой и тамошним губернатором о вызове подрядчиков для рубки и вывоза к пристаням корабельных лесов «по целому кораблю» 1763–1765 гг. // РГА ВМФ. Ф. 147. Оп. 1. Д. 12.

¹⁰ Выпись из речи о употреблении с пользою и сбережении лесов, говоренной в собрании шведской Академии наук при сложении президенства Улрихом Руденшильдом июля 16 дня 1748 года // Труды Вольного экономического общества. Ч. XIV. 1769. С. 101–104.

самый старый и опытный лесоруб. Он бил в самую глубину заруба, в «репку», перерубал последние напряженные слои древесины. Наконец, дерево медленно начинало крениться к подготовленному бревенчатому ложу, раздавался быстро нарастающий свист, который тонул в гулком грохоте падающего ствола и ломавшихся ветвей. Поднималось облако снега, пружинисто подпрыгивал комель и дерево замирало. Мужики проверяли, не повредился ли при падении ствол, после чего приступали к обрубке сучьев и окорке ствола. Шестом отмеряли необходимую длину бревна с припуском, делали ровный сруб, верхнюю часть закругляли долбили в ней дыру для каната. При вывозе обычно использовали от 10 до 16 лошадей; при вывозе особо крупных мачтовых деревьев их число могло достигать до 24. На берегу сплавной реки бревна складывали на «катище» – удобном месте для скатывания бревен и связки их в плоты. Каждый сортимент осматривал корабельный мастер или доверенный от Адмиралтейства. Если сортимент удовлетворял, то на нем ставили специальное клеймо, отмечали назначение, размеры и место заготовки [15, с. 117–118; 16, с. 15–16].

Для заготовки досок на крупных предприятиях и верфях использовали пилы и пильные мельницы (водные или ветряные), но в крестьянском хозяйстве именно топор, как имеющий ряд преимуществ, применяли активнее других инструментов. Это кузнечное, кованое прочное изделие, которое приводится в рабочее состояние заточкой на любом камне (желательно, на точильном, но в принципе возможно на любом). Заточка пилы требует специального трехгранного напильника, особых навыков, умелой разводки, т. е. отклонения наточенных зубьев под определенным углом в разные стороны. Напильник – вещь дорогая, из чужого европейского мира. Кроме того, топор «зачеканивал» поры древесины, делая ее менее гигроскопичной и потому прочной и устойчивой к гнили. Наконец, пила прорезала ствол напрямую, без учета направления волокон, что также ослабляло конструкцию. Тес не имел столь существенного изъяна. Внедрение обычных ручных пил (не говоря уже о мельницах) рассматривалось в просветительских трудах как средство охраны лесов, рекомендовалось «обучать пилить их ручными пилами, что служит к великому поспорью и бережению лесов» [44, 48, 62]. Приводились также пространные аргументы против того, что работа пилой отличается меньшей продуктивностью и большими трудозатратами. В пользу использования пил писали, что хотя «времени тем не выигрывается», но «рубкою тратится до десятой части дров в щепках» [26]. С другой стороны, работа топором возможна в одиночку в отличие от двуручной пилы. В дискуссиях об том, что должно быть основным инструментом заготовки и обработки древесины, принимал участие М.В. Ломоносов, высказывавшийся в пользу пил и пильных мельниц [47]. Екатерина II предполагала законодательное утверждение использования пил.¹¹

¹¹ *Екатерина II. О лесном хозяйстве. Черновой автограф. [1786 г.] // Архив СПбИИ РАН. Ф. 203. Екатерина II. Оп. 1. Д. 122. Л. 12.*

Пильная мельница, как средство изготовления досок со значительно меньшим количеством отходов, чем тес, считалась средством экономии природных ресурсов. В.Н. Татищев писал: «Пильная мельница здесь весьма потребна для бережения леса... на государевы строения наиболее тес повсягодно... потребно... А когда пильная мельница будет, то одно бревно заменит пять или шесть досками. К тому же работников столько не надобно, и работа споряе» [11]. Конструкция пильных мельниц сохранялась практически в неизменном виде столетиями. Они были известны еще в XVI в. и продолжали использоваться на протяжении всего XX в. Плотины создавался напор воды, необходимый для работы мельничных колес. Вода подавалась на колеса при помощи лотков, приводя их в движение силой удара. Водяное колесо приводило в движение ось, на которой оно крепилось. Ось при помощи храпового механизма и передач других видов приводила в движение рамы (сани) с пилами. На одной раме было от двух до четырех пил. Бревна для распиливания подавали при помощи двух цепей, которые наматывали на вал одну вправо, другую влево. На концах цепей были крючки, которые захватывали бревна, подающиеся к пилам. Вал, на котором укреплялись цепи, в это время вращался в обратном направлении при помощи большого колеса со ступеньками. Цапфа на ободе маховика при каждом обороте ударяла по одной из ступеней колеса и продвигала его на одно деление дальше. Цепи тем временем подтягивали бревно к пилам, обеспечивая равномерную подачу бревен [50]. О том, какое высокое значение придавалось мельницам и их совершенствованию, свидетельствует тот факт, что эти вопросы несколько раз обсуждались на заседаниях Академии наук. Проекты, признанные удачными, предписывалось сопровождать рисунками «с описанием для внесения о том в газеты».¹²

Там, где мельницы находились недалеко, крестьяне постепенно отказывались от ручного труда, начинали возить бревна на мельницы для распиловки. В 1780-х гг. на деревенской пильной мельнице каждый проход стоил 3...4 копейки [33]. Пильные мельницы имелись при многих предприятиях, не специализировавшихся на заготовке древесины, – металлургических, стекольных и др. [20]. Количество работавших на каждой мельнице варьировалось от нескольких человек до сопоставимого со штатом небольшой фабрики. Например, на Ижорской пильной мельнице, обеспечивавшей досками петербургские верфи, в 1740-х гг. было занято 134 человека. В столичной Галерной гавани была своя мельница, на которой работал 21 человек, на казенной мельнице при Архангельском порте – 56.¹³ На частновладельческих мельницах работало, как правило, значительно меньше людей, часто на ней были заняты только члены одной семьи.

¹² Журналы канцелярии Академии наук. 25 января 1771 г. // ПФ АРАН. Ф. 3. Оп. 1. Д. 542. Л. 72-об. То же. 27 августа 1764 г. // Там же. Д. 534. Л. 188.

¹³ О всех чинах и служителях и о препорции кораблей и протчих судов и по каким указам что быть определено и по необходимым нуждам в прибавок служителей обстоятельной экстракт [1746 г.?] // Архив СПбИИ РАН. Ф. 36 (Воронцовых). Оп. 1. Д. 272. Л. 47-об.-48-об.

Пилы и пильные мельницы в первую очередь приживались в районах с острым дефицитом древесины, а там, где эта проблема практически не ощущалась, дольше всего использовались традиционные технологии работы топором [57].

Доставка материалов

Путь каждой партии от места вырубki до места назначения занимал от года до двух. Огромное количество материалов ежегодно шло из Казанской, Нижегородской и Воронежской губерний в С.-Петербург по Волге и Оке, против течения этих рек. Казанские дубы высоко ценились как материал для строительства кораблей. Одновременно этот регион был удобен по причине малоразвитого помещичьего землевладения, соответственно, государственные заготовки не ущемляли здесь частных интересов. Самым трудоемким был путь до сплавной реки и перевоз по суше между реками, чем объясняется особая ценность лесов, растущих в непосредственной близости от водных артерий страны. Для подъема деревьев использовали домкраты. При вывозке деревьев, пригодных для кораблестроения, невозможно было избежать повреждения других, остававшихся на корню и стоявших на пути до сплавной реки. Оригинальную конструкцию из трех катков, позволявшую обеспечить более бережный перевоз бревен, предложил в 1804 г. И.Е. Миллер. Как и многие российские изобретения XVIII – начала XIX в., этот проект остался в виде опытной модели и не был введен в широкое пользование при лесозаготовках.¹⁴ Однако провоз водным путем против течения был делом непростым. Проблема дороговизны перевозки материалов на верфи С.-Петербурга неоднократно обсуждалась в Адмиралтействе (предлагались различные варианты – от более активного поиска деревьев ближе к столице до закупки материалов за рубежом), но окончательное решение в течение XVIII в. найти не удалось [32, 39].

За границу древесину вывозили на кораблях морским путем. Внутри страны по рекам большую часть материалов переправляли в плотах. Именно этот способ сплава чаще упоминается в официальной переписке о крупных поставках для казенных нужд.

Источники подчас отмечают бесхозяйственное отношение к лесам при заготовках и доставке. Заготовленные материалы далеко не всегда довозились до места назначения, нарушение условий контракта, изменения планов, отсутствие финансирования и другие причины заставляли заготовителей оставлять вырубленные деревья на месте. Это описывает П.И. Челищев в своем «Путешествии по Северу России»: «...я там видел заготовленный англичанином

¹⁴ Перевод с немецкого, содержащий объяснение модели, присланный Вольному экономическому обществу от г. Миллера. 14 мая 1804 г. // РГИА. Ф. 91. Оп. 1. Д. 461. Проекты, записки и письма разных лиц о проведении опытов по выращиванию различных сельскохозяйственных культур, предотвращении падежа скота, лечения зубов, об изменении порядка рекрутских наборов, о возделывании пустошей и увеличении лесонасаждений с чертежами и рисунками. 1803–1806 гг. Л. 69–70.

Гомом¹⁵ для строения кораблей лес, которого лежит вдоль на версту, да поперек саженой на сто, и гниет он непокрыт и не складен порядочно понапрасну; а сказывал мне таможенный директор Иван Иванович Вулф, что если из любопытства рассмотреть в лесу, то на каждой версте такового для строения кораблей гниющего лесу можно найти полмиллиона деревьев» [58]. Описание П.И. Челищевым ситуации в Онеге рисует государство в качестве «собаки на сене» – на фоне периодические активизирующейся борьбы против незаконных вырубок, борьбы за сохранение лесных массивов, перешедшие ей в большом количестве с верфей В.В. Гома заготовки остаются брошенными, но к ним не допускают ни купцов, ни крестьян, хотя «в сем необъятном количестве лучшего лесу, которой бы из сотой части построив сарай, можно было сохранить навсегда безвредно» [58]. Не лучше и ситуация на юге, описываемая П.С. Палласом. О хозяйстве крымских татар он говорит: «...им доставляет тайное удовольствие истребления или разорения лесов, возвращенных природой в их горах. Они бесстыдно рубят самые лучшие деревья для выделки своих жалких повозок, употребляя на то только самую ничтожную часть срубленного. Испортившаяся ступица колеса – достаточная причина, чтобы срубить таким же образом великолепнейший ясень или вяз, из которых берут только сердцевину сплетения корней. Для осей и спиц они рубят молодые дубы и грабины; в полной силе деревья назначаются на косяки ободьев к тем же колесам и на отопление; и вся их тележная работа, которую они занимаются, привозя на рынки в значительном количестве, так дурно сделана, что купленное у них колесо часто рассыпается через месяц. По той же причине лени и удобства они жгут зимой все плетни от садов и полей, и когда весной приходится их возобновлять, то для этого беспощадно рубится вся молодая поросль, тогда как можно было бы воздержаться от такого истребления, взяв из леса упавшие ветки или сломанные ветром. Это – опустошение молодняка, а его продажей они отчасти живут сами. Так же и их многочисленные стада коз совершенно разоряют леса, где кустарник или жалкая кривая поросль замещает высокорослые деревья и великолепные рощи, бывшие на тех местах» [35, с. 156].

Организация лесозаготовок для вывоза за границу требовала координации работы большого количества людей. При уменьшении объемов лесозаготовок для экспортной торговли терялась коммерческая выгода. Поэтому данным видом предпринимательства занимались богатые купцы, имевшие большой капитал, благодаря которому они могли оплатить труд по заготовке, доставке, погрузке бревен.

Организовывавшиеся Адмиралтейством работы по заготовке и доставке материалов отличались от описанных практик большей продуманностью

¹⁵ В.В. Гом разорился и прекратил свою деятельность в России за 15–20 лет до момента, описываемого в записках.

и рациональностью. Тяжесть работ на нужды Адмиралтейства целиком ложилась на податное население. Большая ее часть – на лашманов Казанской, Нижегородской, Воронежской губерний. В 1718–1724 гг. более 5 000 служилых чувашей было переведено в разряд государственных крестьян и приписано к разработке корабельных лесов. Традиционно они не занимались пашенным земледелием. В официальной документации XVIII в. это объясняется «неимением земли».¹⁶ В отличие от удельных крестьян татары не платили поземельный сбор и не несли рекрутскую повинность, хотя были положены в подушный оклад. Вместо этого они обязаны были рубить лес и вывозить его из корабельных рощ к сплавающим рекам. Таким образом создавалось потомственное сословие лашманов, т. е. заготовителей леса. В хозяйственном отношении они состояли в управлении удельных контор, а по обязанностям – в ведении Адмиралтейств-коллегии. Удельные конторы по первому требованию коллегии отправляли необходимое количество лашманов для заготовки соснового мачтового леса, дубовых кряжей, вывозки материалов к пристаням и сплава до С.-Петербурга. Немецкое слово «лашман» прочно вошло в чувашский язык, превратилось со временем в названия улиц, рощ, оврагов, дорог, стало мужским именем и символом могучей силы [46]. Кроме чувашей, к работам в корабельных лесах привлекались мордовцы, черемисы, вотяки, татары и другие «инородцы». Лашманская работа прочно закрепилась за нерусским населением Поволжья: «...если впоследствии между ними найдены и русские, то это признано было отступлением от намерений Петра Великого, которое затем немедленно было устранено» [53, с. 23]. По каждому селению и волости, приписанным к Адмиралтейству, велись семейные списки с учетом мужчин, способных нести повинность. На основе этих списков соблюдалась очередность, сроки, характер работ. В 1725 г. Сенат, основываясь на том, что в петровском законодательстве ничего не говорилось об освобождении от подушного оклада приписанных к корабельным лесам крестьян, определил брать с них рекрут и подати наравне со всеми.¹⁷ Таким образом, лашманы оказались под двойным окладом. Ситуация была отчасти исправлена указом Верховного тайного совета 1729 г., по которому работа на адмиралтейских лесах зачитывалась в подушный платеж.¹⁸ С 1757 г. лашманам стали выплачивать жалование: пешим – 5 копеек в день, конным – 8; в 1774 г. плата была повышена до 10 и 16 копеек

¹⁶ О служилых и ясашных татарах, приписанных к Адмиралтейству. 1799 г. // Там же. Д. 40. Л. 2-3.

¹⁷ Сенатский [указ] об оставлении Казанской губернии служилых татар при корабельной работе и об увольнении от оной приемлющих христианскую веру // ПСЗ I. Т. XIII. № 9 861.

¹⁸ Сенатский [указ] вследствие именного, состоявшегося в Верховном тайном совете о бытии казанским, нижегородским и симбирским иноверцам у адмиралтейских работ по прежнему, о зачёте им заработных денег в платеж подушного по плакату и об употреблении подушных денег с иноверцев Воронежской губернии на содержание полков. 12 марта 1729 г. // ПСЗ I. № 5 379.

соответственно,¹⁹ в 1791 г. – до 20 и 40 копеек.²⁰ При этом заработанные деньги зачитывались в счет подушной подати и выдавались только в случае «если сверх подушного оклада выработают». Сенатским указом 22 мая 1763 г. лашманам была дана привилегия торговать наравне с купцами.²¹ Это право, как и жалование, были очень скромным вознаграждением за тяжелейший физический труд в казенных лесах. Мизерность его тем более очевидна, что заготовка материалов для флота требовала значительных расходов со стороны самих лашманов. Никто не компенсировал им проезд от места проживания до места заготовок, питание во время исполнения повинностей, не обеспечивал инструментами. Лишь в редких случаях некоторая сумма выдавалась тем работникам, которые по бедности не могли себя содержать во время работы. Расчет на основе данных, приводимых С.И. Даишевым, показывает, что в среднем лашман тратил за сезон 2 рубля 9 копеек собственных средств, что практически составляет подушный оклад [7, с. 58].

Организация и технологии лесного хозяйства, сформировавшиеся в целом к 1730-м гг. претерпевали несущественные изменения в последующие десятилетия и во многом сохранились до Великих реформ, некоторые – вплоть до позднего советского времени.

Выводы

1. Изучение организации и технологий лесного хозяйства в историческом аспекте является актуальным для современных исследований. XVIII в., менее документированный по сравнению с более поздним временем, требует к себе особого внимания как время, когда закладывались основы лесного хозяйства, определялись его основные базовые характеристики на долгие годы. При хорошо изученной законодательной базе, картографировании, вкладе выдающихся личностей технологии лесного хозяйства до сих пор незаслуженно оставались в тени исследовательского интереса.

2. В сознании людей XVIII в. лесное хозяйство существовало в неразрывной связи охраны природы для будущих поколений и решения утилитарных задач текущего момента. Заготовка, доставка, хранение – все это входило в должностные обязанности специалистов по лесному хозяйству наравне с охраной заповедных лесов.

3. Ведение лесного хозяйства требовало большого труда многих людей. Документы, обнаруженные в архивах, и материалы современных исследований

¹⁹ Экстракт где находятся зберегаемые для Адмиралтейства леса, какое над ними надзирание определено и сколько приписано людей для рубки оных лесов и на каком основании [1786 г.(?)] // Архив СПбИИ РАН. Ф.203. Екатерина II. Оп. 1. Д. 95. Л.3.

²⁰ Государственной Адмиралтейской коллегии от лесного департамента доклад о положении штрафных денег за порубку лесов. 14 июня 1799 г. // РГИА. Ф. 1594. Оп. 1. Д. 101. Л.1-об.

²¹ [И.М. Дерibasу] Оренбургской казенной палаты. 21 февраля 1799 г. // Там же. Д. 40. Л. 12.

позволяют пролить свет на содержание основных работ – лесопосадки, подчистка, труд облазчиков, сплав.

4. Основным инструментом при заготовительных работах, подчистках, облазах был топор. Борьба против его использования растянулась на многие десятилетия. Пилы и пильные мельницы представлялись просвещенным деятелям XVIII в. как средство рационализации и модернизации лесного хозяйства. При том, что в местах с ощутимым дефицитом древесины эти инструменты более или менее приживались, большинство населения страны относилось к ним как к предметам из чуждого и непонятного западного мира, ненужным излишествам и барским прихотям.

5. Опыт лесопосадок, ухода за лесами, организации доставок – всех работ, организовывавшихся С.-Петербургским адмиралтейством, был передовым для своего времени. Впоследствии он был развит, некоторые начинания затем активно использовались, другие, хотя и были забыты в России, используются в других странах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Арнольд Ф.К.* История лесоводства в России, Франции и Германии. СПб., 1895.
2. *Болотов А.Т.* Избранные сочинения по агрономии, плодоводству, лесоводству, ботанике. М., 1952.
3. *Булгаков М.Б., Ябулганов А.А.* Российское природоохранное законодательство XI – начала XX вв. М., 1997.
4. *Ведров С.В.* О лесоохранении по русскому праву. СПб., 1878. С. 52–78.
5. *Гершман И.* Очерк истории лесовладения, лесной собственности и лесной политики в России // Лесн. журн. 1911. Вып. 3–4. С. 493–518; Вып. 5. С. 794–816.
6. *Гребенщикова Г.А.* Проблема сохранности корабельного леса в XVIII веке // Вопросы истории. 2007. № 12. С. 136–141.
7. *Дашиев С.И.* Лашманы Среднего Поволжья в первой половине XIX в. // Вопросы аграрной истории Среднего Поволжья. Дооктябрьский период. Йошкар-Ола, 1978.
8. 200 лет лесному учебному и опытному делу в Лисинском и Охтенском лесхозах. М.; Л., 1953.
9. Двухсотлетие учреждения Лесного департамента 1798–1998. Т.1-2. М., 1998.
10. *Демидов А.И.* А.А. Нартов – первый русский лесовод // Лесн. хоз-во. 1950. № 1.
11. Доношение Татищева Я.В. Брюсу о целесообразности постройки нового металлургического завода на реке Исети. 6 февраля 1721 г. // Научное наследство. Т.14. Василий Никитич Татищев. Записки. Письма. 1717–1750 гг. М., 1990. С. 50.
12. *Дубенский Н.* Леса Владимирской губернии // Записки Комитета лесоводства Московского общества сельского хозяйства. Т. I. М., 1857. С. 189.
13. *Ивакин В.И.* История правового регулирования ответственности за нарушения экологического законодательства в дореволюционной России // Аграрное и земельное право. 2007. № 5. С. 95–104.
14. *Иванова Ж.Б.* Правовая охрана лесов Севера России: досоветский период. Владимир, 2004.
15. *Ипатов Л.Ф., Львов П.Н., Трубин Д.В., Трубин Б.В.* Беломорская тайга: вчера, сегодня, завтра. Архангельск, 1988. С. 117–118.

16. *Ипатов Л.Ф.* Орловская корабельная роща: науч.-популярн. очерк. Архангельск, 2009. С. 15–16.
17. Исторический очерк развития С.-Петербургского лесного института. СПб., 1903.
18. *Кузнецов А.Ф.* Леса Урала: 300 лет на службе отечеству // Лесн. журн. 1996. № 4–5. С. 193–197. (Изв. высш. учеб. заведений).
19. *Курьшова И.В.* Охрана природы в Байкальском регионе в конце XIX–начале XX вв.: проблемы организации и основные направления деятельности: автореф. дисс... канд. сист. наук. Иркутск, 2012.
20. *Лепехин И.И.* Дневные записки путешествия доктора и Академии наук адъюнкта Ивана Лепехина по разным провинциям Российского государства, 1770 году. Ч. I–II. СПб., 1802.
21. *Лоскутова М.В.* «Влияние лесов на обмеление рек есть только недоказанная гипотеза»: прикладная наука и государственная политика по управлению лесным хозяйством Российской империи второй четверти XIX в. // Историко-биологические исследования. 2012. Т. 4, № 1. С. 9–32.
22. *Лоскутова М.В., Федотова А.А.* Велико-Анадольское лесничество и создание лесного опытного дела в России (1840– 1890-х гг.) // Изв. Русс. географ. общества. 2013. Т. 145, вып. 6. С. 52–65.
23. *Максимов В.Н.* Древесные экзоты Выборгского района // Природа Карельского перешейка (к 30-летию музейной экспозиции). СПб., 2007. С. 58–64.
24. *Мелехов И.С.* Очерк развития науки о лесе в России. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 207 с.
25. *Мерзленко М.Д., Бабич Н.А.* Выдающиеся лесоводы-лесокультурники России. Архангельск, 2005.
26. *Местмахер И.* О пользе махины, которою один человек может пилить дрова // Труды ВЭО. Ч. XL. СПб., 1790. С. 121–122.
27. *Мильков Ф.Н.* К истории отечественного степного лесоводства // Вопросы географии. 1949. Сб.13. С. 193–196.
28. *Минин В.А.* Зарождение русского лесного законодательства и правовая охрана горнозаводских лесов в первой половине XVIII в. // Правоведение. 2007. № 2. С. 179–190. (Изв. высш. учеб. заведений).
29. *Молчанов Б.А.* Законодательство об охране природы Европейского Севера России XVIII – начало XX в.: дисс... д-ра юр. наук. Владимир, 2002.
30. *Неволин О.А.* Первая лесоустроительная инструкция и ее значение (к 150-летию издания) // Лесн. журн. 1980. № 6. С. 120–122. (Изв. высш. учеб. заведений).
31. *Нестеров В.Г.* Черты самобытности русского лесоводства // Развитие русского лесоводства. Вып.1. М.; Л., 1948. С. 7–31.
32. Описание дел Архива Морского министерства. Т.V. СПб., 1888. С. 11, 24.
33. Опыт поправления крестьянских жилищ // Тр. ВЭО. Ч. XXXIV. СПб., 1790. С. 121–122.
34. *Орлов М.М.* Обзор лесоустроительных инструкций в связи с историей лесоустройства. СПб., 1904.
35. *Паллас П.С.* Наблюдения, сделанные во время путешествия по южным наместничествам русского государства в 1793–1794 гг. М., 1999.
36. *Пашков К.И.* Охрана природы в Байкальском регионе: проблемы организации и основные направления деятельности (1917–1991 гг.): автореф. дисс... канд. ист. наук. Иркутск, 2012.

37. *Перевалов В.А.* Некоторые данные об использовании леса в историческом прошлом // Тр. Ин-та леса. Т. V. М.; Л., 1950. С. 142–170.
38. *Пробст А.Е.* Лесная и топливная политика Петра I (Из истории топливного хозяйства СССР) // Вопросы экономики, планирования и статистики: сб. ст. М., 1957. С. 235–257.
39. *Пышкин Б.А., Пиотровский А.В.* Лесосплав и лесосплавные сооружения на реках Украины. К., 1955.
40. *Редько Г.И.* Лесной знатель Ф.Г. Фокель в России // Лесн. журн. 1990. № 5. С. 129–131. (Изв. высш. учеб. заведений).
41. *Редько Г.И.* «Не во славу свету своё рассуждение оставляю...» (к 225-летию опубликования книги Ф.Г. Фокеля // Лесн. журн. 1991. № 4. С. 125–132. (Изв. высш. учеб. заведений).
42. *Редько Г.И.* Линдуловская лиственничная роща. Хельсинки, 2003.
43. *Редько Г.И.* Лисинскому учебно-опытному лесхозу 200 лет // Лесн. журн. 2005. № 5. С. 148–151. (Изв. высш. учеб. заведений).
44. *Рогенбург Ф.Ф.* Рассуждение и исследование причин для чего все жалуются в Петербурге на дороговизну дров, при чем прилагается способ, как здесь в Петербурге и по другим городам, в которые уже дрова привозятся из далека, можно всякий год по малой мере 15 и 20 000 сажень дров сберечь // Тр. ВЭО. Ч. XX. СПб., 1772. С. 144–148.
45. *Рудзкий А.Ф.* Краткий очерк истории лесоустройства. СПб., 1889.
46. *Салмин А.К.* С.-Петербург XVIII века и чуваша // Чувашский гуманитарный вестник. № 4. Чебоксары, 2009.
47. *Соколов О.М., Неволин О.А.* Ломоносов и лес // Лесн. журн. 1998. № 6. С. 132–137. (Изв. высш. учеб. заведений).
48. Сочиненный господином статским советником Петром Ивановичем Рычковым наказ для деревенского управителя // Тр. ВЭО. Ч. XVI. СПб., 1770. С. 51.
49. 150 лет учебно-опытного Лисинского лесхоза // Тр. Лесотехнической академии. Л., 1956.
50. *Стришенец Н.М.* Лесопильное механизированное производство Украины XVI-XVII вв. // Лесн. журн. 1973. № 4. (Изв. высш. учеб. заведений).
51. *Сукачев В.Н.* Из истории проблемы преобразования природы наших степей путем лесонасаждений // Вопросы географии. 1949. Сб. 13. С. 5–20.
52. *Тяпкин М.О.* Охрана лесов Томской губернии во второй трети XIX – начале XX в.: дис. ... канд. ист. наук. Барнаул, 2004.
53. *Фирсов Н.А.* Иностранческое население прежнего Казанского царства в новой России до 1762 года. Казань, 1869.
54. *Фокель Ф.Г.* Собрание лесной науки. СПб.; Архангельск, 1996.
55. *Цветков М.А.* Изменение лесистости Европейской России с конца XVII столетия по 1914 год. М., 1957. 213 с.
56. *Цветков М.А.* Первая карта лесов Европейской России и некоторые рукописные карты лесов XVIII в. // Тр. Ин-та леса. Т. V. М., 1950. С. 151–162.
57. *Цейтлин М.А.* Лесная промышленность в России и СССР. Л., 1940.
58. *Челищев П.И.* Путешествие по северу России в 1791 году. СПб., 1886. С. 62.
59. *Чефранова Н.А.* Охрана природы в эпоху Петра Великого // Охрана природы и заповедное дело в СССР. № 6. 1960. С. 114–117.
60. *Шелгунов Н.В.* История русского лесного законодательства. СПб., 1857.

61. Шелохова Н.М. Из истории развития охраны природы Восточной Сибири. Иркутск, 1992.
62. Шретер Е.И. Случайное размышление о употреблении всякого рода лесов в Санкт-Петербургской губернии и как надлежит чинить им пособие // Тр. ВЭО. Ч. XL. СПб., 1790. С. 207–208.
63. Яковлев И.А., Яковлев А.С. Дубравы Среднего Поволжья (история, причины деградации и современное состояние). <http://oaks.forest.ru/region/sredvolga/index.html#top>. 03.09.2013.
64. Яценко И.И. Эстетическая охрана лесов и лесоустройство // Лесн. журн. 1917. Вып. 7-8. С. 369–386.
65. Lowood H.E. The Calculating Forester: Quantification, Cameral Science, and the Emergence of Scientific Forestry Management in Germany // *The Quantifying Spirit in the 18th Century*. Berkeley. Los Angeles. Oxford. 1990. P. 322–323.
66. Postnikov A.V. The Russian Navy as Chartmaker in the Eighteenth Century // *Imago Mundi*. Vol. 52. 2000. P. 84.
67. Resources under Regimes. Technology, Environment and State. Harvard; Cambridge; London, 2004. P. 30–32.
68. Thomas K. Man and the Natural World. Changing Attitudes in England. 1500-1800. N.-Y. Oxford, 1984.

Поступила 18.06.14

Some Aspects of Forest Management and Technology in Russia of the XVIII Century

E.M. Lupanova, Doctor of Historical Sciences, Senior Research Assistant

Peter the Great Museum of Anthropology and Ethnography (the Kunstkamera), Universitetskaya Naberezhnaya, 3, Saint Petersburg, 199034, Russia; e-mail: lupanova@eu.spb.ru

The XVIII century is the formative period of forestry in Russia. Management and technologies, formed during the reign of Peter the Great and up to 1730s, underwent small changes in the following decades and were preserved up to the Great Reforms, and some of them – until the late Soviet Period. The life of formed practices in that period, their influence upon the subsequent development of forestry in our country stipulate the importance of studying the issue. The article deals with the establishment of a system of the administrative control over the forests, the beginning of the formation of professional teams of specialists in forestry (“forstmeistry” - scientists, “waldmeistry” - officials, “strazhi” – locally responsible peasants, “oblazchiki” – workers, responsible for forming a bole form during a tree growth, “lashmany” – the woodchoppers), the first experience of forest plantations, tree selections for the needs of the Admiralty, standing tree processing, tools, methods of logging. Each stage was associated with hard physical work of many people. Particular attention is paid to the integration of saws at the Russian logging. In the XVIII century this process was supposed to be an important mean of modernization and environment protection. But, despite the efforts of the Government, this innovation became usual with great difficulty. Peasants accepted it as unusual and too difficult for usage. On the basis of the archival documents introduced for the first time this paper considers other inconsistencies between the regulations and realities of the life, the problems of wasteful attitude to materials at everyday life and forest harvesting. Among the sustainable characteristic features of Russian forest management of the XVIII century the high role of physical work, low level of mechanization,

conservative technologies and preference for simple and cheap methods of logging should be mentioned.

Keywords: Russian history, XVIII century, forestry technologies, ax, saw, sawmills, timber-rafting, logging management.

REFERENCES

1. Arnol'd F.K. *Istoriya lesovodstva v Rossii, Frantsii i Germanii* [History of Forestry in Russia, France and Germany]. Saint Petersburg, 1895.
2. Bolotov A.T. *Izbrannye sochineniya po agronomii, plodovodstvu, lesovodstvu, botanike* [Selected Works in Agriculture, Fruit Growing, Forestry, Botany]. Moscow, 1952.
3. Bulgakov M.B., Yabulganov A.A. *Rossiyskoe prirodookhrannoe zakonodatel'stvo XI – nachala XX vekov* [Russian Environmental Legislation of the IX - early XX Centuries]. Moscow, 1997.
4. Vedrov S.V. *O lesookhraneni po russkomu pravu* [Forest Protection According to the Russian Legislation]. Saint Petersburg, 1878, pp. 52–78.
5. Gershman I. Oчерк истории лесовладения, лесной собственности и лесной политики в России [Essay on the History of the Land Ownership, Forest Ownership and Forest Policy in Russia]. *Lesnoy zhurnal*, 1911, no. 3–4, pp. 493–518; no. 5, pp. 794–816.
6. Grebenshchikova G.A. Problema sokhrannosti korabel'nogo lesa v XVIII veke [The Problem of Preservation of Shipbuilding Timber in the XVIII Century]. *Voprosy istorii*, 2007, no. 12, pp. 136–141.
7. Daishev S.I. Lashmany Srednego Povolzh'ya v pervoy polovine XIX v. [Lashmans of the Middle Volga Region in the First Half of the XIX Century]. *Voprosy agrarnoy istorii Srednego Povolzh'ya. Dooktyabr'skiy period* [Problems of Agrarian History of the Middle Volga. Pre-October Period]. Yoshkar-Ola, 1978.
8. *200 let lesnomu uchebnomu i opytному delu v Lisinskom i Okhtenskom leskhozakh* [200 Years of Forestry Training and Experimental Activity in Lisinsky and Okhtensky Forestry Enterprises]. Moscow; Leningrad, 1953.
9. *Dvukhsotletie uchrezhdeniya Lesnogo departamenta 1798-1998* [Bicentennial of the Forest Department Establishment 1798–1998]. Moscow, 1998, vol. 1–2.
10. Demidov A.I. A.A. Nartov – pervyy russkiy lesovod [A.A. Nartov – the First Russian Woodgrower]. *Lesnoye khozyaystvo*, 1950, no. 1.
11. Donoshenie Tatishcheva Ya.V. Bryusu o tselesoobraznosti postroyki novogo metallurgicheskogo zavoda na reke Iseti. 6 fevralya 1721 g. [Tatishchev Ya.V. Report to Bruce About the Feasibility of a New Steel Plant Constructing on the River Iset. February 6, 1721]. *Nauchnoe nasledstvo. Vasilij Nikitich Tatishchev. Zapiski. Pis'ma 1717–1750 gody* [The Scientific Legacy. Vasily Nikitich Tatishchev. Notes. Letters. 1717–1750]. Moscow, 1990, vol. 14, p. 50.
12. Dubenskiy N. Lesa Vladimirskoy gubernii [Forests of Vladimir Region]. *Zapiski Komiteta lesovodstva Moskovskogo obshchestva sel'skogo khozyaystva* [Notes of the Forestry Committee of the Moscow Society of Agriculture]. Moscow, 1857, vol. 1, p. 189.
13. Ivakin V.I. Istoriya pravovogo regulirovaniya otvetstvennosti za narusheniya ekologicheskogo zakonodatel'stva v dorevolyutsionnoy Rossii [History of the Legal Regulation of Liability for the Breach of the Environmental Legislation in the Pre-revolutionary Russia]. *Agrarnoe i zemel'noe pravo* [Agricultural and Land Law], 2007, no. 5, pp. 95–104.

14. Ivanova Zh.B. *Pravovaya okhrana lesov Severa Rossii: dosovetskiy period* [Legal Protection of the Forests of the Russian North: Pre-Soviet Period]. Vladimir, 2004.
15. Ipatov L.F., L'vov P.N., Trubin D.V., Trubin B.V. *Belomorskaya tayga: vchera, segodnya, zavtra* [White Sea Taiga: Yesterday, Today and Tomorrow]. Arkhangelsk, 1988, pp. 117–118.
16. Ipatov L.F. *Orlovskaya korabel'naya roshcha* [Orel Ship Grove]. Arkhangelsk, 2009, pp. 15–16.
17. *Istoricheskiy ocherk razvitiya Sankt-Peterburgskogo lesnogo instituta* [Historical Essay of Saint Petersburg Forestry Institution Development]. Saint Petersburg, 1903.
18. Kuznetsov A.F. *Lesa Urala: 300 Let na sluzhbe otechestvu* [Forests of the Ural: 300 Years on the State Service]. *Lesnoy zhurnal*, 1996, no. 4–5, pp. 193–197.
19. Kuryshova I.V. *Okhrana prirody v Baykal'skom regione v kontse XIX - nachale XX vv.: problemy organizatsii i osnovnye napravleniya deyatel'nosti: avtoref. dis. ... kand. ist. nauk* [Environment Protection in the Baikal Region in the Late XIX – Early XX Centuries: Problems of Organization and Main Activities: Cand. Hist. Sci. Diss. Abs.]. Irkutsk, 2012.
20. Lepekhin I.I. *Dnevnye zapiski puteshestviya doktora i Akademii nauk ad"yunkta Ivana Lepekhina po raznym provintsiyam Rossiyskogo gosudarstva, 1770 godu* [Daily Records of Travelling of Doctor and Junior Assistant of the Academy of Sciences Ivan Lepekhin in Various Provinces of the Russian Empire in 1770]. Saint Petersburg, 1802, Part. 2.
21. Loskutova M.V. «Vliyanie lesov na obmelenie rek est' tol'ko nedokazannaya gipoteza»: prikladnaya nauka i gosudarstvennaya politika po upravleniyu lesnym khozyaystvom Rossiyskoy Imperii vtoroy chetverti XIX v. [«The Impact of Forests on the Shallowing of Rivers is an Unproven Hypothesis»: the Applied Science and State Policy in the Forest Management of the Russian Empire in the Second Quarter of the XIX Century]. *Istoriiko-biologicheskie issledovaniya*, 2012, vol. 4, no. 1, pp. 9–32.
22. Loskutova M.V., Fedotova A.A. *Veliko-Anadol'skoe lesnichestvo i sozdanie lesnogo opytnogo dela v Rossii (1840 - 1890-kh gg.)* [Veliko-Anadolskoye Forestry and the Formation of the Forest Experimenting in Russia (1840 – 1890)]. *Izvestiya Russkogo geograficheskogo obshchestva*, 2013, vol. 145, no. 6, pp. 52–65.
23. Maksimov V.N. *Drevesnye ekzoty Vyborgskogo rayona* [Wood Exotic Species of the Vyborg District]. *Priroda Karel'skogo peresheyka (k 30-letiyu muzeynoy ekspozitsii)* [Nature of the Karelian Isthmus]. Saint Petersburg, 2007, pp. 58–64.
24. Melekhov I.S. *Ocherk razvitiya nauki o lese v Rossii* [Essay of the Forest Science Development in Russia]. Moscow, 1957. 207 p.
25. Merzlenko M.D., Babich N.A. *Vydayushchiyesya lesovody-lesokul'turniki Rossii* [Outstanding Foresters of Russia]. Arkhangelsk, 2005.
26. Mestmakher I. *O pol'ze makhiny, kotoroyu odin chelovek mozhet pilit' drova* [The Benefits of Colossus, by Which One Person Can Saw Wood]. *Trudy Vol'nogo ekonomicheskogo obshchestva*. Saint Petersburg, 1790, part XL, pp. 121–122.
27. Mil'kov F.N. *K istorii otechestvennogo stepnogo lesovodstva* [On the History of the National Forest Steppe]. *Voprosy geografii*, 1949, vol. 13, pp. 193–196.
28. Minin V.A. *Zarozhdenie russkogo lesnogo zakonodatel'stva i pravovaya okhrana gornozavodskikh lesov v pervoy polovine XVIII v.* [The Origin of the Russian Forest Legislation and Legal Protection of Forests in the Mining Regions in the First Half of the XVIII Century]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Pravovedenie*, 2007, no. 2, pp. 179–190.
29. Molchanov B.A. *Zakonodatel'stvo ob okhrane prirody Evropeyskogo Severa Rossii XVIII – nachalo XX v.: dis. ... dok. yur. nauk.* [Environmental Legislation of the European North of Russia in the XVIII - early XX Centuries: Doc. Jur. Sci. Diss.]. Vladimir, 2002.

30. Nevolin O.A. Pervaya lesoustroitel'naya instruksiya i ee znachenie (k 150-letiyu izdaniya) [The First Forest Management Instruction and Its Significance (to the 150th Anniversary of the Publication)]. *Lesnoy zhurnal*, 1980, no. 6, pp. 120–122.

31. Nesterov V.G. Cherty samobytnosti russkogo lesovodstva [Specific Characteristics of the Original Russian Forestry]. *Razvitie russkogo lesovodstva*, 1948, vol. 1, pp. 7–31.

32. *Opisanie del Arkhiva Morskogo ministerstva* [Description of the Archives of the Ministry of Marine Affairs]. Saint Petersburg, 1888, vol. V, pp. 11, 24.

33. Opyt popravleniya krest'yanskikh zhilishch [Experience of Reconstruction of Peasant Dwellings]. *Trudy Vol'nogo ekonomicheskogo obshchestva*. Saint Petersburg, 1790, part XXXIL, pp. 121–122.

34. Orlov M.M. *Obzor lesoustroitel'nykh instruksiy v svyazi s istoriey lesoustroystva* [Review of the Forest Management Instructions in the Context of the History of Forest Management]. Saint Petersburg, 1904.

35. Pallas P.S. *Nablyudeniya, sdelannye vo vremya puteshestviya po yuzhnyim namestnichestvam russkogo gosudarstva v 1793-1794 godakh* [Observations Made During the Trip to the Southern Vicegerency of the Russian State in 1793–1794]. Moscow, 1999.

36. Pashkov K.I. *Okhrana prirody v Baykal'skom regione: problemy organizatsii i osnovnye napravleniya deyatel'nosti (1917–1991 gg.): avtoref. dis. ... kand. ist. nauk* [Environment Conservation in the Baikal Region: Problems of Organization and Principal Directions of Activity (1917–1991): Cand. Hist. Sci. Diss. Abs.]. Irkutsk, 2012.

37. Perevalov V.A. Nekotorye dannye ob ispol'zovanii lesa v istoricheskom proshlom [Some Data of the Forest Utilization in the Past]. *Trudy Instituta lesa*, 1950, vol. V, pp. 142–170.

38. Probst A.E. Lesnaya i toplivnaya politika Petra I (Iz istorii toplivnogo khozyaystva SSSR) [Peter the Great's Forest and Fuel Policy (History of the Fuel Handling Facilities Management of the USSR)]. *Voprosy ekonomiki, planirovaniya i statistiki* [Problems of Economics, Planning and Statistics], 1957, pp. 235–257.

39. Pyshkin B.A., Piotrovsky A.V. *Lesosplav i lesosplavnye sooruzheniya na rekakh Ukrainy* [Timber Rafting and Timber Rafting Constructions at the Rivers of Ukraine]. Kiev, 1955.

40. Red'ko G.I. Lesnoy znatel' F.G. Fokel' v Rossii [A Forest Expert F.G. Fokel in Russia]. *Lesnoy zhurnal*, 1990, no. 5, pp. 129–131.

41. Red'ko G.I. Ne vo slavu svetu svoe rassuzhdenie ostavlyayu... (k 225-letiyu opublikovaniya knigi F.G. Fokelya) [Not for the Glory of the Polite Society I Leave My Reasoning ... (to the 225th Anniversary of the Publication of the Fokel' F.G. Book)]. *Lesnoy zhurnal*, 1991, no. 4, pp. 125–132.

42. Red'ko G.I. *Lindulovskaya listvennichnaya roshcha* [Lindulovsk Larch Grove]. Helsinki, 2003.

43. Red'ko G.I. Lisinskomu uchebno-opytному leskhozhu 200 let [200 Years to Lisinski Training and Experimental Forestry]. *Lesnoy zhurnal*, 2005, no. 5, pp. 148–151.

44. Rogensburg F.F. Rassuzhdenie i issledovanie prichin dlya chego vse zhaluyutsya v Peterburge na doroshoviznu drov, pri chem prilagaetsya sposob, kak zdes' v Peterburge i po drugim gorodam, v kotorye uzhe drova privozyatsya iz daleka, možhno vsyakiy god po maloy mere 15 i 20 000 sazhen drov sberech' [The Reasoning and the Study of the Causes for Which Everybody in Petersburg Complain the Wood Dearthness, and the Way is Attached, How One Can Every Year for a Small Measure of 15 and 20 Thousand Fathoms of Firewood Save in St. Petersburg and Other Cities, Where Firewood are Brought Already From

Far Away,]. *Trudy Vol'nogo ekonomicheskogo obshchestva*. Saint Petersburg, 1772, part XX, pp. 144–148.

45. Rudzkiy A.F. *Kratkiy ocherk istorii lesoustroystva* [Outline of the Forest Management History]. Saint Petersburg, 1889.

46. Salmin A.K. Sankt-Peterburg XVIII veka i chuvashi [Saint Petersburg of the XVIII Century and the Chuvashes]. *Chuvashskiy gumanitarnyy vestnik*, 2009, no. 4.

47. Sokolov O.M., Nevolin O.A. Lomonosov i les [Lomonosov and a Forest]. *Lesnoy zhurnal*, 1998, no. 6, pp. 132–137.

48. Sochinennyi gospodinom statskim sovetnikom Petrom Ivanovichem Rychkovym nakaz dlya derevenskogo upravatelya [Penned by a State Councilor Mr. Peter Ivanovich Rychkov a Directive for a Village Disposer]. *Trudy Vol'nogo ekonomicheskogo obshchestva*. Saint Petersburg, 1770, part XVI, p. 51.

49. 150 let uchebno-opytного Lisinskogo leskhoza [150 Years of the Training and Experimental Lisinsky Forestry Enterprise]. *Trudy Lesotekhnicheskoy akademii*, 1956.

50. Strishenets N.M. Lesopil'noe mekhanizirovannoe proizvodstvo Ukrainy XVI-XVII vv. [Sawmill Mechanical Industry of Ukraine in the XVI-XVII Centuries]. *Lesnoy zhurnal*, 1973, no. 4.

51. Sukachev V.N. Iz istorii problemy preobrazovaniya prirody nashikh stepey putem lesonasazhdeniy [Glimpses of History of the Problem of Our Steppes Nature Transformation by Afforestation]. *Voprosy geografii*, 1949, vol. 13, pp. 5–20.

52. Tyapkin M.O. *Okhrana lesov Tomskoy gubernii vo vtoroy treti XIX – nachale XX v.: dis. ... kand. ist. nauk* [Forest Conservation in Tomsk Region in the Second Third of the XIX – Early XX Centuries: Cand. Hist. Sci. Diss.]. Barnaul, 2004.

53. Firsov N.A. *Inorodcheskoe naselenie prezhnego Kazanskogo tsarstva v novoy Rossii do 1762 goda* [Mixed Ethnic Population of the Kazan Kingdom in New Russia Before 1762]. Kazan, 1869.

54. Fokel F.G. *Sobranie lesnoy nauk* [Collection of Forest Science]. Saint Petersburg; Arkhangelsk, 1996.

55. Tsvetkov M.A. *Izmenenie lesistosti Evropeyskoy Rossii s kontsa XVII stoletiya po 1914 god* [Changes of Woodiness in the European Russia Since the End of the XVII Century to 1914]. Moscow, 1957. 213 p.

56. Tsvetkov M.A. Pervaya karta lesov Evropeyskoy Rossii i nekotorye rukopisnye karty lesov XVIII v. [The First Map of the Forests in the European Russia and Some Manuscript Forest Maps of the XVIII Century]. *Trudy instituta lesa*, 1950, vol. V, pp. 151–162.

57. Tseytlin M.A. *Lesnaya promyshlennost' Rossii i SSSR (ekonomicheskie ocherki). Lesozagotovki i lesopilenie krepostnoy Rossii* [Timber Industry of Russia and the USSR (the Economic Survey). Logging and Lumbering of the Serfdom Russia]. Leningrad, 1940.

58. Chelishchev P.I. *Puteshestvie po severu Rossii v 1791 godu* [Trip Round the North of Russia in 1791]. Saint Petersburg, 1886, p. 62.

59. Chefranova N.A. Okhrana prirody v epokhu Petra Velikogo [Nature Conservancy in the Era of Peter the Great]. *Okhrana prirody i zapovednoe delo v SSSR*, 1960, no. 6, pp. 114–117.

60. Shelgunov N.V. *Istoriya russkogo lesnogo zakonodatel'stva* [History of the Russian Forest Legislation]. Saint Petersburg, 1857.

61. Shelokhova N.M. *Iz istorii razvitiya okhrany prirody Vostochnoy Sibiri* [Glimpses of History of the Environment Conservation Development in the Eastern Siberia]. Irkutsk, 1992.

62. Shreter E.I. Sluchaynoe razmyshlenie o upotreblenii vsyakogo roda lesov v Sankt-Peterburgskoy gubernii i kak nadlezhit chinit' im posobie [Random Thinking About the Use of All Kinds of Forests in St. Petersburg Province and How They Should Be Used]. *Trudy Vol'nogo ekonomicheskogo obshchestva*. Saint Petersburg, 1790, part XL, pp. 207–208.

63. Yakovlev I.A., Yakovlev A.S. *Dubravyy Srednego Povolzh'ya (istoriya, prichiny degradatsii i sovremennoe sostoyanie)* [Oak Forests of the Middle Volga Region (History, Causes of Degradation and Current State)]. Available at: <http://oaks.forest.ru/region/sredvolga/index.html#top> (accessed 03.09.2013).

64. Yatsenko I.I. Esteticheskaya okhrana lesov i lesoustroystvo [Aesthetic Forest Conservation and Forest Management]. *Lesnoy zhurnal*, 1917, no. 7–8, pp. 369–386.

65. Lowood H.E. The Calculating Forester: Quantification, Cameral Science, and the Emergence of Scientific Forestry Management in Germany. *The Quantifying Spirit in the XVIII Century*. Berkley. Los Angeles. Oxford, 1990, pp. 322–323.

66. Postnikov A.V. The Russian Navy as Chartmaker in the Eighteenth Century. *Imago Mundi*, 2000, vol. 52, p. 84.

67. *Resources under Regimes. Technology, Environment and State*. Harvard; Cambridge; London, 2004. pp. 30–32.

68. Thomas K. *Man and the Natural World. Changing Attitudes in England. 1500 – 1800*. New York; Oxford, 1984.

Received on June 18, 2014



ЮБИЛЕИ

УДК 06.091

К ЮБИЛЕЮ УЧЕНОГО-ЛЕСОВОДА И ПОЭТА А.П. ДОБРЫНИНА



В январе 2015 г. свой юбилейный день рождения отметил доктор биологических наук, профессор Череповецкого государственного университета Александр Павлович Добрынин.

А.П. Добрынин родился 13 января 1950 г. в лесном пос. Михайловка Тотемского р-на Вологодской области. После окончания школы в 1965 г. он поступил на лесохозяйственное отделение Тотемского лесотехнического техникума, после успешного окончания которого служил в рядах Советской Армии. Вернувшись после демобилизации, он непродолжительное время работал мастером в Тотемской сплавной конторе. В 1972 г. Александр Павлович устроился в Боханский лесхоз Иркутской области, где за полтора года прошел путь от техника лесного хозяйства до главного лесничего лесхоза. В 1972 г. он поступил на заочное отделение лесохозяйственного факультета Сибирского технологического института (г. Красноярск) и через два года перевелся на ту же специальность «Лесное и лесопарковое хозяйство» в Приморский сельскохозяйственный институт (г. Уссурийск). В 1973 г. он переехал во Владивосток и работал мастером Специализированного управления зеленого строительства. С 1979 г. и до отъезда на родину жизнь Александра Павловича связана с Ботаническим садом-институтом ДВО РАН. Его научные интересы сосредоточились в это время на исследовании дубовых лесов российского Дальнего Востока. В 1983-87 гг. обучался в целевой заочной аспирантуре при Центральном сибирском ботаническом саду СО РАН (руководитель – д-р биол. наук, проф. И.В. Таран). По окончании аспирантуры (1988 г.) он защитил диссертацию «Рекреационное использование дубовых лесов Южного Приморья» на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук в Институте леса и древесины СО РАН (г. Красноярск).

Участие в многочисленных экспедициях по Дальнему Востоку и активная научная деятельность способствовали тому, что в 1999 г. Александр Павлович успешно защитил докторскую диссертацию в Биолого-почвенном институте ДВО РАН на тему «Дубовые леса российского Дальнего Востока (биология, география, происхождение)».

А.П. Добрынин – участник большого количества различных совещаний, конференций и симпозиумов по вопросам леса, в том числе в Швеции и Германии. Им опубликовано свыше 110 научных работ, среди которых несколько монографий, посвященных дубовым лесам.

Научную и преподавательскую деятельность Александр Павлович умело сочетает с поэтическим творчеством. Стихи он начал писать еще в школе, но свой первый поэтический сборник, который вышел тиражом 300 экз. в издательстве «Дальнаука» в 2000 г. под загадочным названием «Ладонь кленового листа», издал уже в зрелом возрасте. Не менее поэтичны названия следующих трех сборников: «Там, где цветет калипсо» (2003); «У знакомых берез» (2003); «Что нашептала ветла» (2005). Его стихи пронизаны любовью к природе. Автор выступает не как сторонний наблюдатель, а как участник и очевидец событий, глубоко проникающий в тайны бытия и секреты природы.

В 2005 г. А.П. Добрынин возвратился на свою малую родину и устроился на преподавательскую работу в Череповецкий государственный университет (ЧГУ). В свободное время продолжает писать стихи. На родине первый его поэтический сборник «Борец и недотрога» увидел свет в 2006 г., далее были «Триумф одуванчиков»; «Это все от цветущей сирени»; «Эпоха опадающей листвы»; «Между Устюгом и Тотьмой»; «Modus in rebus (Мера вещей)».

Наряду с любовной лирикой, стихами о природе, в творчестве поэта много поэтических переводов зарубежных классиков – Р.М. Рильке, Ф. Вийона, П.Б. Шелли, М.Э. Фрай, О. Уайльда, Д. Китса, С. Малларме, Дж. М. Гэйл и др. Отдельный жанр составляют стихотворные сказы. Анекдоты, курьезные случаи из жизни, смешные истории – все это находит место в сборниках Александра Павловича, которые он издает и дарит знакомым, коллегам по работе и друзьям. Он выступал на поэтических встречах в Северном (Арктическом) федеральном университете имени М.В. Ломоносова, Вологодской государственной молочнохозяйственной академии (ВГМХА).

Редколлегия Лесного журнала, ректорат ЧГУ, коллектив кафедры лесного хозяйства ВГМХА желают Александру Павловичу крепкого здоровья, новых творческих успехов в науке, радужных встреч с читателями и поклонниками, чтобы муза поэзии сопровождала его долгие годы!

Н.А. Бабич¹, В.И. Мелехов¹, И.В. Евдокимов²,

¹Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

²Вологодская государственная молочнохозяйственная академия
имени Н.В. Верещагина

The Anniversary of a Research Forester and a Poet A.P. Dobrynin

N.A. Babich¹, V.I. Melekhov¹, I.V. Evdokimov²

¹Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

²Vologda State Dairy Farming Academy by N.V. Vereshchagin

УДК 06.091

АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ МИНАЕВ



В плеяде известных выпускников С.-Петербургской лесотехнической академии имени С.М. Кирова достойное место занимает д-р техн. наук А.Н. Минаев, отметивший 19 марта свое 70-летие.

После службы в Вооруженных Силах Александр Николаевич в 1972 г. заканчивает Ленинградскую лесотехническую академию. В последующие годы проходит путь от инженера, ассистента до профессора кафедры водного транспорта леса и гидравлики, с которой вот уже 45 лет связана вся его научная и преподавательская деятельность. Здесь он защищает кандидатскую и докторскую диссертации.

Богатейший практический опыт и глубокие научные знания делают его лекции интересными и яркими, воспитывают в студентах интерес и любовь к избранной специальности. Минаев является автором учебников, учебных пособий, авторских свидетельств, им опубликовано свыше 120 научных и методических работ, 10 научных отчетов по завершённым научным исследованиям. Под его руководством подготовлено и защищено 5 кандидатских диссертаций.

На протяжении 12 лет он возглавлял кафедру водного транспорта леса и гидравлики, 15 лет был деканом лесоинженерного факультета – ведущего технического факультета С.-Петербургского государственного лесотехнического университета.

Александр Николаевич является специалистом в области перемещения измельченной древесины по напорному трубопроводному гидротранспорту. Этот вопрос в полном объеме был рассмотрен в его диссертациях и научных трудах, доказана высокая экономическая эффективность как внешнего, так и внутризаводского вида транспорта по сравнению с существующими способами доставки технологической щепы и опилок на предприятиях лесного комплекса. Значительная часть исследований посвящена сохранению гидробионтов и рыбной молоди при их прохождении через турбины гидроэлектростанций. Им рассмотрены способы снижения кавитации в проходных сечениях турбин. Эти исследования направлены на значительное улучшение экологической обстановки в регионах размещения гидроэлектростанций.

В 1996 г. ему присвоено звание академика Российской академии естественных наук, в 1998 г. – чл.-корреспондента Международной академии наук высшей школы, в 2001 г. – ветерана труда, в 2003 г. – Почетного работника

высшего и профессионального образования РФ, в 2011 г. – Заслуженного работника высшей школы РФ.

Его труд отмечен двумя Правительственными наградами, почетными медалями и знаками. В 2011 г. Александр Николаевич был включен в «Золотой фонд профессионалов С.-Петербурга».

Коллеги и друзья желают Александру Николаевичу крепкого здоровья, долгих лет плодотворной работы, новых профессиональных и творческих успехов.

© *И.В. Григорьев, д-р. техн. наук, проф.*
С.-Петербургский государственный лесотехнический университет
имени С.М. Кирова

Alexander Nikolaevich Minayev

I.V. Grigoriev, Doctor of Engineering, Professor
St. Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov



ПАМЯТИ УЧЕНЫХ

ПАМЯТИ АКАДЕМИКА И.С. МЕЛЕХОВА
(к 110-летию со дня рождения)

*Лицом к лицу лица не увидать,
Большое видится на расстоянии*
С.А. Есенин



Об Иване Степановиче Мелехове, как о выдающимся ученом-лесоводе, талантливом педагоге, организаторе и общественном деятеле, мне уже не раз приходилось писать, в том числе и в «Лесном журнале».

Я продолжаю осмысливать секрет его плодотворной деятельности и успехов во многих ипостасях, которые он исполнял в тяжелые для нашей страны времена и с историей которой тесно связана судьба этого замечательного человека.

Мне повезло встретиться с ним еще на студенческой скамье, когда он возглавлял кафедру лесоводства Ленинградской лесотехнической академии. Тогда под его руководством я начал работать председателем научного студенческого кружка по лесоводству. После окончания аспирантуры по его предложению я переехал в г. Архангельск (1957–1965 гг.), вначале в Северное отделение института леса АН СССР, а затем в созданный на его базе Институт леса и лесохимии АН СССР.

Для меня он был хорошим наставником. Каждый по своему воспринимает это понятие, объединяющее в себе и учителя, и воспитателя. Мне импонировало, что он не навязывал своего мнения, даже в дискуссионных вопросах, предлагал лишь деликатным советом, как проверить их решение. Наставника, как и родителей, и учителей, начинаешь все больше ценить с возрастом, когда ты сам повторяешь жизненные (и возрастные) этапы, которые проходили и они. Меня трогает благородство их поступков, которые становятся руководством в жизни и примером для передачи следующим поколениям.

Итак, возвращаюсь к вопросу о секрете успеха творчества Ивана Степановича. По моему, может быть, субъективному мнению, наибольших успехов добиваются те, кто с детства получил трудовое воспитание. Вместе с отцом в 9 лет он начал работать на лесопильном заводе на берегу Сев. Двины, в рай-

оне д. Жаровиха (г. Архангельск). Труд с детства сформировал его характер, силу воли, подготовил его к самостоятельному выбору профиля учебы и последующей деятельности. Немаловажно, что ярким лучом света был для него пример прославленного земляка М.В. Ломоносова, который зимой пешком отправился в Москву за знаниями. Вот как он сам писал об этом: «Велика была сила примера Ломоносова, его великого жизненного подвига. Он был ярким лучом света. О нем слышали с раннего детства, даже из уст неграмотных родителей, и тянулись к грамоте, к знаниям». Пример великого земляка способствовал настрою И.С. Мелехова пройти тернистым путем к знаниям. Отсюда высота заданной жизненной планки, требовательность к себе и высокая нравственность. Прочитую известное ученого академика П.Л. Капицу: «В науке необходима абсолютная честность» [1, стр. 748]. Добавлю к этому слова А. Эйнштейна: «Моральные качества выдающейся личности имеют, возможно, большее значение для данного поколения и всего хода истории, чем чисто интеллектуальные достижения. Последние зависят от величия характера в значительно большей степени, чем это принято считать» [1, стр. 744].

Я намеренно сделал эти ссылки на авторитетов в науке, ибо и сам убежден, и по совместной деятельности и анализу событий с высоты прошедшего времени сужу, что необходимые отмеченные выше качества были присущи И.С. Мелехову. Эти нравственные ценности были усвоены им и в своей трудовой семье и от своих учителей, затем он их использовал в своей практической деятельности. Именно в этом и был секрет его последующих жизненных успехов.

Когда Мелехов встал перед выбором, куда идти учиться, он и направил свой путь в бывший Императорский лесной институт (в последующем Ленинградская лесотехническая академия – ЛТА), который был тогда центром лесной науки и образования. Там в это время работали выдающиеся ученые-педагоги: проф. М.М. Орлов – «туз козырный» – как называли его студенты, признанный лидер отечественного лесоуправления и лесоустройства; проф. М.Е. Ткаченко, ученик М.М. Орлова, унаследовавший от проф. Г.Ф. Морозова кафедру лесоводства и оставивший глубокий след в этой фундаментальной дисциплине; В.Н. Сукачев и сын известного композитора М.Н. Римский-Корсаков и др. После окончания академии в 1930 г. Иван Степанович начал работать в Архангельском лесотехническом институте (АЛТИ). По его совету директор этого института В.А. Горохов привлек М.Е. Ткаченко по совместительству к формированию кафедры лесоводства, руководство которой с 1934 по 1962 гг. осуществлял молодой ученый И.С. Мелехов, поддерживавший связь со своим учителем М.Е. Ткаченко и другими видными учеными ЛТА. Это способствовало укреплению и развитию АЛТИ, как центра подготовки кадров на Европейском Севере*.

* Проф. М.М. Орлов, жизнь которого оборвалась в 1932 г., завещал свою личную богатейшую библиотеку именно АЛТИ. Работая в Архангельске, я имел возможность пользоваться его книгами.

Важно подчеркнуть, что от своих учителей молодой ученый унаследовал органичное сочетание педагогической деятельности с активными ширококомасштабными научными исследованиями, при чем по тем проблемам, которые были особо важны для нашей страны в то время. В 1930-е гг. в связи с фосированной индустриализацией страны одним из важнейших источников ее финансирования была валюта, получаемая от экспорта пиломатериалов. Архангельск, как морской порт, превратился уже в то время во «всесоюзную лесопилку», «валютный цех» страны. Чтобы снизить цену наших пиломатериалов на мировом рынке, в западной прессе со ссылкой на исследования зарубежных ученых сообщалось, что древесина хвойных пород Европейского Севера уступает по качеству аналогичной древесине западно-европейских стран. И.С. Мелехов, своевременно организовал исследования по анатомическому строению и физико-механическим свойствам древесины названных пород и доказал более высокое качество пиломатериалов из древесины сосны и ели Европейского Севера. Работа была опубликована и адресно использована в защиту нашего исторически традиционного экспортного товара. Для того времени исследования молодого ученого И.С. Мелехова явились новым направлением в лесной науке. Проф. Б.Н. Уголев уже в наше время, как председатель координационного Совета по современным проблемам лесоведения, отмечает, что И.С. Мелехов «по полному праву может быть отнесен к ученым в области фундаментального лесоведения», был «выдающимся лесоведом» и «ровесником научной дисциплины в СССР, которая изучает строение и свойства древесины» [2].

Известно, что лесные пожары были и остаются настоящим бедствием, потому выработка мер по их предотвращению и борьбе с ними была важнейшей частью всей системы лесохозяйственных мероприятий, особенно в многолесных районах, в том числе в лесах Европейского Севера. Иван Степанович с первых дней своей деятельности вынужден был уделять лесным пожарам особое внимание. Именно им он посвятил свою докторскую диссертацию, которую успешно защитил в марте 1944 г. в Свердловске, куда в годы войны были эвакуированы ученые из ЛТА и Белоруссии. Так, «Лесная пирология», стала составной частью его творчества.

В послевоенные годы в связи с перебазированием лесозаготовок на Север, а потом и на Восток, и необходимостью их механизации ширококомасштабный характер приобрели сплошные концентрированные рубки. Известно, что эти способы рубок кардинально меняют не только состав будущих лесов, определяя беспрецедентный масштаб нежелательной смены пород, но и ландшафты, и всю природную среду, особенно гидрологический режим и качество вод. При этом изменяется состав наземной и водной фауны. Иван Степанович, понимая все это, считал необходимым упорядочить характер этих рубок и разработать систему мер, которая сводила бы к минимуму наносимый ими ущерб и способствовала бы активным мерам содействия желательному составу естествен-

ного возобновления, в сочетании, где без них не обойтись, с лесными культурами и уходами за формирующимися молодняками.

Он проводил комплексные полевые исследования в составе академических учреждений, в том числе организованных в Архангельске стационаров АН СССР, возглавляя «лесную группу», которая под его руководством превратилась в Северное отделение института леса АН СССР (Москва). За достигнутые успехи он в числе немногих был избран в 1956 г. академиком ВАСХНИЛ. Это позволило ему в рамках ВАСХНИЛ и АН СССР создать в Архангельске межведомственный координационный центр с участием представителей академических, отраслевых институтов и лесных вузов страны для разработки всесоюзной программы по совершенствованию способов рубок, в том числе сплошных концентрированных.

Это было «кипучее» время совнархозов, бурной, не всегда последовательной реформаторской деятельности Н.С. Хрущева. Сам Архангельск (вначале столица Архангельского, потом всего Северо-Западного совнархоза) превратился по существу в центр лесных научных учреждений. Сюда из Химок (Московская область) был перебазирован ЦНИИМОД – головной институт лесопильно-деревообрабатывающей промышленности. Здесь же находились Северный научно-исследовательский институт лесной промышленности и филиал Всесоюзного научно-исследовательского института целлюлозно-бумажной промышленности.

Нельзя не дооценивать роль общественной и организаторской деятельности И.С. Мелехова. Будучи депутатом Верховного Совета СССР, он имел тесные контакты с представителями руководящего состава не только региональной исполнительной и партийной властей, но и центральных ведомств, убеждая их в необходимости создания на Европейском Севере крупного лесного академического центра, который бы объединял исследования и техническую политику всех лесных отраслей, включая и глубокую переработку. И ведь это ему удалось во времена Н.С. Хрущева, который отнюдь не благоволил академической науке. Так был создан на базе Северного отделения АН СССР самостоятельный Институт леса и лесохимии, включавший, кроме подразделений лесного хозяйства, лаборатории целлюлозы, лигнина, экстрактивных веществ и другие подразделения.

Пользуясь широкими связями с научной общественностью он привлекал в новый институт кадры из лесных вузов Архангельска, Ленинграда, Москвы.

Под его руководством были организованы широкие комплексные исследования по изучению природы лесов, их использования, воспроизводства и охраны от пожаров, защиты от вредителей. О результатах широкого спектра работ институт докладывал на крупных совещаниях, организуемых совнархозом. Мне посчастливилось, когда уже Иван Степанович работал в Москве, докладывать легендарному министру Г.Ф. Орлову во время его приезда в Архангельск об эффективности выборочных рубок, которые позволяют резко сократить срок выращивания пиловочника, дефицит которого начал ощущаться уже в то время. Он поддержал эти работы, добавив, что «это как раз то, что для нас крайне важно».

На базе междисциплинарных комплексных исследований в полевых условиях Иван Степанович разработал классификацию типологии вырубок, которая послужила основой для создания систем лесовосстановительных мероприятий. Для внедрения этих рекомендаций были разработаны инструкции и наставления, облегчающие их использование на производстве. В дальнейшем эти исследования послужили основой для формирования динамической типологии леса.

Однако для педагогической деятельности требуются учебники, которые систематизировали бы весь набор знаний по каждой дисциплине и унифицировали бы понятия и термины, приводя их к общепринятым среди профессионалов. Для непосвященных добавлю, что написание учебников – это труд, не сопоставимый с написанием книг и даже монографий. Ибо учебник – это настольная книга не только для студентов, но и для специалистов при повышении их квалификации, а потому требует особой ответственности.

Но учебники могут быть двух типов: хрестоматийные и циркулярные, отвечающие меняющейся конъюнктуре требований чиновников Минобрнауки. Первые сохраняют свое значение исторически долгое время, вторые имеют короткий век, особенно в условиях нынешних ультралиберальных реформ, подорвавших научный и образовательный потенциал. Примером учебников первого типа могут служить: 3-томный учебник по лесоустройству проф. М.М. Орлова и его же «Лесоправление», обобщившие исторический опыт того времени; учебник «Общее лесоводство» проф. М.Е. Ткаченко; «Дендрология» акад. В.Н. Сукачёва.

По моему мнению, учебники написанные И.С. Мелеховым по лесоведению, лесоводству и лесной пирологии, принадлежат к первому типу, они неоднократно переиздавались. Но наряду с этим были написаны и монографии, в том числе по рубкам главного пользования. Всего им было опубликовано около 300 работ по многим вопросам лесного хозяйства и лесопользования, с обзором состояния их не только в нашей стране, но и за рубежом, с перспективой их развития в будущем. Общим для них была объективная оценка. Прочитав, что писал он в конце своей жизни об историческом характере развития отечественной лесной промышленности: «Дорого обошлось подрубание сука, на котором она когда-то прочно сидела. Но подрубание продолжается и сегодня. Пора вернуть лесное хозяйство в цивилизованные нормы его существования» [3, стр. 228].

По регламенту данной статьи я не могу вдаваться в детали отдельных сторон его деятельности, но должен отметить, что его целеустремленная энергичная деятельность была на виду не только широкой лесной общественности, но и руководства центральных органов. При всех недостатках того времени надо иметь в виду, что, по сравнению с нынешним периодом, состояние лесной науки и практики тогда находилось в апогее развития. Руководители центральных ведомств тогда понимали, что необходимо к управлению привлекать ученых высокого ранга. Так, в 1962 г. министр Г.Ф. Орлов предложил

Ивану Степановичу занять должность зам. председателя руководимого им Государственного комитета СССР по лесной, целлюлозно-бумажной, деревообрабатывающей промышленности и лесному хозяйству, возложив на него обязанности руководства лесным хозяйством и всей отраслевой наукой.

Именно этому комитету обязаны знаменитые стройки века, включая Братский, Усть-Илимский, Сыктывкарский ЛПК, Котласский ЦБК и другие крупные предприятия в Карелии, Архангельской области и в других регионах. После этих исторических свершений в отечественном лесном комплексе ничего существенного не добавилось. (Нынешние инвестпроекты – это тема отдельного разговора.) Пора совнархозов сменилась ведомственным управлением, сменилась и структура управления лесными отраслями.

С 1966 по 1971 г. Иван Степанович был академиком-секретарем отделения лесоводства и агролесомелиорации ВАСХНИЛ, членом его президиума. Одновременно (с 1962 г. и до конца своей жизни) он заведовал кафедрой лесоводства Московского лесотехнического института (МГУЛ). В это же время он руководил научно-техническим советом Министерством лесного хозяйства РСФСР (1966–1967 гг.), Госкомлеса СССР (1967–1980 гг.), был председателем экспертной комиссии ВАК по лесным специальностям (1971–1975 гг.), главным редактором «Лесного журнала» (1980–1993 гг.).

Деятельность И.С. Мелехова была значима и на международном уровне. Он активно участвовал в Мировых лесных конгрессах – V(США), VI (Испания), на конгрессах Международного союза лесных исследовательских организаций (YUFRO) – XIV (ФРГ), XV (США). На XIV и XV конгрессах YUFRO он был избран членом исполкома (постоянного комитета) этой организации. На VI Мировом лесном конгрессе он был вице-президентом и председателем пленарной сессии. Не перечисляя других международных конференций, где он участвовал, заметим, что ни один из российских ученых лесоводов за всю предыдущую историю не был так широко представлен на международном уровне. За научные заслуги ему присвоено звание «Почетный член YUFRO».

Иван Степанович был иностранным членом Королевской шведской академии сельского и лесного хозяйства, Венгерской академии наук, почетным членом Лесного общества Финляндии, почетным доктором сельскохозяйственного университета в г. Брно.

Правительство нашей страны наградило его орденами Ленина, Октябрьской Революции, двумя орденами Трудового Красного Знамени и многими медалями.

Около 50 человек из числа его учеников, включая представителей нашей страны и зарубежных стран, защитили кандидатские и докторские диссертации.

Всем этим достижениям способствовали простота и скромность общения, доброта, готовность оказать помощь, что ответно вызывало глубокое уважение к нему коллег, учеников, студентов. При этом он не любил «верхо-

глядов», не допускал выпуска на защиту посредственных диссертантов, и тем более не поощрял плагиат. Требовал знания истории вопроса. Для меня на всю жизнь в памяти осталось его восклицание: «Ох уж эти Иваны, не помнящие своего родства!» Это относилось к тем, кто не интересовался, что до него было уже сделано, открывая, как говорят, Америку заново.

Завершая это посвящение памяти И.С. Мелехова, полагаю вправе сказать, что он был достойным продолжателем традиций наших выдающихся деятелей науки, таких как М.М. Орлов, Г.Ф. Морозов, М.Е. Ткаченко, и лидером отечественного лесоводства последних десятилетий, достойным примером для продолжателей традиций последующих поколений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семенов М.Д. В науке необходима абсолютная честность (К 120-летию со дня рождения академика П.Л. Капицы) // Вестник РАН. Авг. 2014. Том 84, № 8.

2. Уголев Б.Н. Академик И.С. Мелехов – выдающийся древесиновед (К 90-летию со дня рождения) // Лесн. журн. 1995. № 6. С. 131–135. (Изв. высш. учеб. заведений).

3. Мелехов И.С. О родном Севере (из воспоминаний). Архангельск: Изд-во «Правда Севера», 1993. 112 с.

© *Н.А. Моисеев, академик РАН, д-р с.-х. наук, проф.*
Московский государственный университет леса

In Memory of Academician Melekhov I.S.
(in the Context of the 110th Anniversary of His Birth)

N.A. Moiseev, Doctor of Agriculture, Professor
Moscow State Forest University